

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
 Федерального государственного автономного образовательного учреждения
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Юргинский технологический институт
 Направление подготовки: 20.03.01 «Техносферная безопасность»
 Профиль: «Защита в чрезвычайных ситуациях»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование системы вентиляции лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ

УДК 697.911:378.162.15

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
17Г60	Аламов Муслихиддин Файзуллоевич		

Руководитель/ консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ/ Ст. преподаватель ЮТИ ТПУ	Мальчик А.Г./ Деменкова Л.Г.	к.т.н./ -		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ	Лизунков В.Г.	к.пед.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ	Солодский С.А.	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ЮТИ ТПУ	Деменкова Л.Г.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ООП 20.03.01 «Техносферная безопасность»	Солодский С.А.	к.т.н.		

Юрга – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по основной образовательной программе
направления 20.03.01 – «Техносферная безопасность»

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные и математические знания, достаточные для комплексной инженерной деятельности в области техносферной безопасности.
P2	Применять базовые и специальные знания в области техносферной безопасности для решения инженерных задач.
P3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с организацией защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей, осуществлять надзорные и контрольные функции в сфере техносферной безопасности.
P4	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретацию полученных данных, на этой основе разрабатывать технику и технологии защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера в соответствии с техническим заданием и с использованием средств автоматизации проектирования.
P5	Использовать знание организационных основ безопасности различных производственных процессов, знания по охране труда и охране окружающей среды для успешного решения задач обеспечения техносферной безопасности.
P6	Обоснованно выбирать, внедрять, монтировать, эксплуатировать и обслуживать современные системы и методы защиты человека и природной среды от опасностей, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья, безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
	Универсальные компетенции
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности.
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.
P10	Демонстрировать знания правовых, социальных, экономических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельной работе и к самостоятельному обучению в течение всей жизни и непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт: Юргинский технологический институт
 Направление подготовки: 20.03.01 «Техносферная безопасность»
 Профиль: «Защита в чрезвычайных ситуациях»

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ С.А. Солодский
 «__» _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студенту:

Группа	ФИО
17Г60	Аламову Муслихиддину Файзуллоевичу

Тема работы:

Проектирование системы вентиляции лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 15.04.2020 г. № 21/с

Срок сдачи студентами выполненной работы:	05.06.2020 г.
---	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе:	Учебно-лабораторный корпус ЮТИ ТПУ, г. Юрга, ул. Московская, д. 17 б. Общая площадь – 540 м ² , полезная площадь – 340 м ² . Количество персонала – 10 человек.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов:	1. Провести литературный обзор в области вентиляции производственных помещений; 2. Изучить нормативно-правовую базу по обеспечению необходимых параметров микроклимата в производственных помещениях. 3. Дать характеристику объекта защиты и оценить мероприятия объекта защиты по обеспечению безопасных условий труда, проанализировать текущее состояние системы вентиляции. 4. Разработать проект системы приточной и вытяжной вентиляции, подобрать оборудование для спроектированной системы вентиляции.
Перечень графического материала:	1 Проект системы вентиляции (1 лист А1). 2 Расчетная схема (1 лист А1).
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент,	Лизунков В.Г., к.пед.н., доцент

ресурсоэффективность ресурсосбережение	и	
Социальная ответственность		Солодский С.А., к.т.н.
Нормоконтроль		Деменкова Л.Г.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Реферат		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2020 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель/ консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ ТПУ/ Ст. преподаватель ЮТИ ТПУ	Мальчик А.Г./ Деменкова Л.Г.	к.т.н./ -		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
17Г60	Аламов М.Ф.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 93 с., 12 рис., 18 табл., 50 источников, 2 прил.

Ключевые слова: микроклимат, приточная вентиляция, вытяжная вентиляция, рекуперация, воздуховод.

Объектом исследования является учебно-лабораторный корпус ЮТИ ТПУ.

Предмет исследования: система вентиляции учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

Цель работы – разработка проекта системы вентиляции учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

В процессе исследования изучена техническая литература в области вентиляции производственных помещений, методы расчета основных характеристик вентиляции, произведён подбор соответствующего оборудования, рассчитаны затраты на проектирование вентиляционной системы.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана современная система вентиляции для улучшения микроклимата в помещении учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

Выпускная квалификационная работа оформлена в текстовом редакторе Microsoft Word 10.0 и представлена в распечатанном и электронном виде.

Степень внедрения: начальная.

Область применения: охрана труда.

Экономическая эффективность/значимость работы: высокая.

В дальнейшем планируется осуществление более детальной разработки с последующим внедрением.

ABSTRACT

The final qualifying work contains 93 p., 12 Fig., 18 tables, 50 sources, 2 app.

Keywords: microclimate, supply ventilation, exhaust ventilation, recuperation, air duct.

The object of research is the educational and laboratory building of YTI TPU.

Subject of research: ventilation system of the educational and laboratory building of YTI TPU.

The purpose of the work is to develop a project for the ventilation system of the educational and laboratory building of YTI TPU.

In the course of the research, the technical literature in the field of ventilation of industrial premises, methods for calculating the main characteristics of ventilation, the selection of appropriate equipment, and the cost of designing the ventilation system are calculated.

As a result of the final qualification work, a modern ventilation system was developed to improve the microclimate in the premises of the educational and laboratory building of YTI TPU.

The final qualifying work is designed in the text editor Microsoft Word 10.0 and is presented in printed and electronic form.

Degree of implementation: initial.

Scope of application: labor protection.

Economic efficiency/significance of the work: high.

In the future, it is planned to implement more detailed development with subsequent implementation.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Оглавление

Введение	11
1 Обзор литературы	13
1.1 Производственный микроклимат	13
1.1.1 Нормирование микроклимата	13
1.1.2 Влияние сварочных аппаратов на микроклимат	16
1.1.3 Влияние металлургических печей на микроклимат	17
1.2 Вентиляция производственных помещений	18
1.2.1 Виды вентиляции	18
1.2.2 Анализ нормативной документации по проектированию вентиляции	23
1.3 Расчёт искусственной вентиляции	25
1.4 Российский и зарубежный опыт в сфере проектирования производственной вентиляции	29
1.5 Система рекуперации тепла	32
1.6 Выводы по главе 1	34
2 Общая характеристика объекта исследования	36
2.1 Общее представление об учебной лаборатории ЮТИ ТПУ	36
2.2 Оборудование учебной лаборатории ЮТИ ТПУ	37
2.3 Характеристика системы вентиляции учебной лаборатории ЮТИ ТПУ	41
3 Расчёты и аналитика	44
3.1 Выбор системы вентиляции	44
3.2 Расчёт системы вентиляции	47
3.2.1 Расчёт системы вентиляции в зоне металлургической печи	47
3.2.2 Расчёт системы вентиляции в зоне сварочных аппаратов	52
3.2.3 Расчёт системы вентиляции в зоне плазмореza	59

	3.2.4 Выбор и размещение воздушных фильтров	62
	3.3 Расчёт рекуператора	62
	3.4 Выводы по главе 3	64
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	66
	4.1 Расчёт стоимости разработки системы вентиляции	66
	4.2 Расчёт стоимости оборудования системы вентиляции	66
	4.3 Расчёт пусконаладочных работ	67
	4.4 Расчёт технического обслуживания системы вентиляции в период эксплуатации	67
	4.5 Вывод по главе 4	69
5	Социальная ответственность	70
	5.1 Описание рабочего места	70
	5.2 Анализ выявленных вредных факторов	71
	5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой среды	78
	5.4 Охрана окружающей среды	80
	5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
	5.5.1 Анализ ЧС, которые может инициировать объект исследования	81
	5.5.2 Анализ ЧС, которые могут произойти во работы оборудования	81
	5.5.3 Анализ ЧС, которые могут произойти во работы оборудования	82
	5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	83
	5.6 Выводы по главе 5	84
	Заключение (выводы)	85
	Список использованных источников	87

Приложение А План расположения оборудования и системы вентиляции	92
Приложение Б Кинематическая схема вентиляционной системы	93

Введение

Для комфортного самочувствия и высокого уровня трудоспособности каждому человеку необходим свежий и чистый воздух. Обеспечить циркуляцию свежего воздуха в помещении способна система вентиляции. В современном мире вентиляция является неременным атрибутом практически любого промышленного или жилого здания.

Применительно к промышленности вентиляция производственных помещений – это комплекс мер, оборудования и организации его обслуживания, преследующий цели поддержания стабильного воздухообмена и перемещения воздушных потоков в помещениях. Вентиляционные системы устанавливаются для поддержания нормативных метеорологических параметров в помещениях. Вентиляция производственных помещений имеет решающее значение для оптимизации рабочей обстановки и минимизирует риск развития заболеваний персонала, связанных с вредными выбросами.

Для того, чтобы система вентиляции функционировала должным образом, ещё на этапе проектирования здания специалистами осуществляется подбор оборудования, наиболее оптимальной системы и будущее расположение ключевых приборов: вентиляторов, воздуховодов, фильтров и др.

Объектом исследования является учебно-лабораторный корпус ЮТИ ТПУ.

Предмет исследования: система вентиляции учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

Цель работы – разработка проекта системы вентиляции учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

В процессе исследования изучена техническая литература в области вентиляции производственных помещений, методы расчета основных характеристик вентиляции, произведён подбор соответствующего

оборудования, рассчитаны затраты на проектирование вентиляционной системы.

Для достижения поставленной цели работы необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать и изучить требования технической и нормативно-правовой документации к микроклимату производственных помещений, рекомендации по проектированию вентиляционных систем;
- проанализировать текущее состояние системы вентиляции учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ;
- разработать проект приточно-вытяжной системы вентиляции учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ с рекуперацией тепла.

По результатам проведенной работы получены результаты, внедрение которых в практику позволит существенно улучшить систему вентиляции учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ.

1 Обзор литературы

1.1 Производственный микроклимат

1.1.1 Нормирование микроклимата

Микроклимат производственных помещений – климат внутренней среды помещений, который определяется действующим на организм человека сочетанием температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей [1]. Таким образом, основными составляющими компонентами микроклимата являются показатели воздушной среды.

Микроклимат на производстве играет огромную роль: от него зависит самочувствие работников и их производительность. Производственные процессы, воздействуя на физико-химическое состояние воздушной среды, приводят к отклонению ее от нормативных требований в рабочей зоне. К числу факторов, обуславливающих эти изменения, относятся: избыточное выделение конвекционного тепла и влаги, загрязнение парами и газами химических веществ, а также пылью.

Установлено [2], что создание на рабочем месте комфортных условий труда делает процесс производства наиболее эффективным и производительным, позволяет предотвратить неблагоприятное воздействие микроклимат на самочувствие и здоровье работника, поддерживает нормальное функционирование оборудования. Требования к микроклимату на рабочем месте устанавливаются в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [3].

Оптимальные микроклиматические условия – сочетание количественных показаний микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального теплового состояния организма человека без напряжения механизмов терморегуляции [3].

Оптимальные микроклиматические условия необходимы на рабочих местах операторского типа, где наиболее сильное нервно-эмоциональное напряжение работника, и желательны для всех остальных рабочих зон.

Допустимые микроклиматические условия – сочетание количественных показаний микроклимата, которые при воздействии на человека могут вызвать проходящие и быстро нормализующиеся изменения теплового состояния организма, сопровождающиеся напряжением механизмов терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей человека [3]. Допустимые микроклиматические условия не вызывают повреждений или нарушений здоровья работника, но могут приводить к чувству теплового дискомфорта, более быстрой утомляемости и ухудшению самочувствия работника в процессе трудовой деятельности.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [4] оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцированно для постоянных и непостоянных рабочих мест. В соответствии с этим же нормативным документом оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата устанавливают с учетом тяжести выполняемой работы и периодов года. Работы, характеризующиеся энергозатратами организма, по своей тяжести подразделяются на следующие категории:

- легкие физические работы (категория I) охватывают виды деятельности, при которых расход энергии составляет до 120 ккал/ч (категория Ia) и от 120 до 150 ккал/ч (категория Ib). К категории Ia относятся работы, производимые сидя и не требующие физического напряжения. К категории Ib относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением;

- физические работы средней тяжести (категория II) охватывают виды деятельности, при которых расход энергии составляет от 150 до 200 ккал/ч (категория IIa) и от 200 до 250 ккал/ч (категория IIб). К категории IIa относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) предметов в

положении стоя (сидя), и требующие определенного физического напряжения. К категории Пб относятся работы, выполняемые стоя, связанные с ходьбой, переноской небольших (до 10 кг) тяжестей и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением;

- тяжелые физические работы (категория Пв) связаны с постоянным передвижением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требуют больших физических усилий; энергозатраты более 250 ккал/ч.

Периоды года подразделяются в зависимости от среднесуточной температуры наружного воздуха: если эта температура равна плюс 10°C и выше – теплый период, менее плюс 10°C – холодный.

Таблица 1 – Оптимальные и допустимые показатели микроклимата

П е р и о д г о д а	Категория работы	Температура,					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		оптим альная	допустимая			оптим альная	Допустим ая на рабочих местах постоянны х и непостоян ных не более	оп ти ма ль на я	Допусти мая на рабочих местах постоянн ых и непостоя нных не более	
			верхняя граница	нижняя граница						
Х о л о д н ы й	Легкая – Ia	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
	Легкая – Ib	21-23	24	25	20	17	40-60	75	0,1	Не более 0,2
	Средней тяжести – II а	18-20	23	24	17	15	40-60	75	0,2	Не более 0,3
	Средней тяжести – II б	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не более 0,4
	Тяжелая – III	16-18	19	20	13	12	40-60	75	0,3	Не более 0,5
Т ё п л ы й	Легкая – Ia	23-25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°С)	0,1	0,1-0,2
	Легкая – Ib	22-24	28	30	21	19	40-60	60 (при 27°С)	0,2	0,1-0,3
	Средней тяжести – II а	21-23	27	29	18	17	40-60	65 (при 26°С)	0,3	0,2-0,4
	Средней тяжести – II б	20-22	27	29	16	15	40-60	70 (при 25°С)	0,3	0,2-0,5
	Тяжелая – III	18-20	26	28	15	13	40-60	75 (при 25°С и ниже)	0,4	0,2-0,6

Таким образом, основными документами в сфере нормирования микроклимата являются ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [4] и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [3].

1.1.2 Влияние сварочных аппаратов на микроклимат

Сварочное производство характеризуется выбросом в воздух рабочей зоны большого количества вредных веществ и теплоты. Эти выбросы происходят неравномерно, и наибольшая их концентрация наблюдается непосредственно у рабочих мест.

Все процессы сварки сопровождаются выделением инфракрасного излучения, что вызывает повышение температуры в рабочей зоне [5]. Интенсивность инфракрасного (теплового) излучения от свариваемых изделий и сварочной ванны определяется температурой изделий, их габаритами и конструкцией, а также температурой и размерами сварочной ванны. При отсутствии средств индивидуальной защиты воздействие теплового излучения, превышающего допустимый уровень, приводит к нарушению терморегуляции, тепловому удару. Контакт с нагретым металлом может вызвать ожоги.

Во время сварочных работ в воздух рабочей зоны попадает значительное количество вредных веществ, которые могут привести к возникновению и развитию профессиональных заболеваний. Эти вредные вещества образуют сварочные аэрозоли, имеющие твёрдую и газообразную составляющие [6].

Сварочные аэрозоли содержат в составе твердой фазы окислы различных металлов (марганца, хрома, никеля, меди, титана, алюминия, железа, вольфрама и др.), в составе газовой фазы – токсичные газы (окись углерода, озон, фтористый водород, окислы азота и др.) [7]. Количество и состав сварочных аэрозолей, их токсичность зависят от химического состава сварочных материалов и свариваемых металлов, видов технологического процесса.

Воздействие на организм выделяющихся вредных веществ может явиться причиной острых и хронических профессиональных заболеваний, и отравлений. Об этом свидетельствуют результаты медицинских обследований, показывающие, что среди профессиональных заболеваний сварщиков в РФ примерно 80 % составляют бронхолегочные заболевания, вызванные действием сварочных аэрозолей. Имеются также данные о том, что действие сварочных аэрозолей на органы дыхания может повышать риск развития онкологических заболеваний [8].

Помещения, в которых при эксплуатации сварочных аппаратов возможно образование вредных газов и аэрозолей, должны быть оборудованы устройствами общеобменной и местной вытяжной вентиляции с последующей очисткой удаляемого воздуха. При использовании или образовании веществ первого и второго классов опасности должна предусматриваться также аварийная вентиляция для случаев возможного внезапного превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. В документе СП 2.2.1.1312-03 [9] установлена ПДК для содержания сварочного аэрозоля в воздухе рабочей зоны, которая равна 4 мг/м³.

1.1.3 Влияние металлургических печей на микроклимат

Работа металлургических печей является сложным комплексом разнообразных процессов, каждый из которых имеет свои закономерности, изучаемые в соответствующих самостоятельных крупных отраслях науки.

В зоне работы металлургических печей в воздух происходит выделение тепла, которое можно использовать для дополнительного подогрева воздуха всего помещения при помощи рекуператоров тепла, установленных на данной ветви вентиляционной сети.

Вентиляционный воздух, выбрасываемый из металлургических цехов, загрязнен парами масла, аммиаком, цианистым водородом и др. Источниками

загрязнений окружающей среды в термических цехах являются нагревательные печи, работающие на жидком и газообразном топливе. Продукты сгорания топлива из печей обычно выбрасываются в атмосферу через трубы без специальной очистки. Концентрация пыли в воздухе, удаляемом из дробеструйных и дробеметных камер, где металл очищается после термической обработки, достигает 2–7 г/м³ [7].

Металлургические печи являются наиболее крупными источниками пылегазовыделения на предприятиях. При производстве тонны чугуновых отливок выделяется 150–330 кг CO, около 1,5 кг SO₂, 25–60 кг пыли, оксиды азота, фенол, аммиак и другие вредные вещества [7].

При плавке стали в индукционных печах выделяется незначительное количество газов и более крупная пыль в количестве в 5–6 раз меньшем, чем при работе электродуговых печей. Наибольшее количество пыли и газов выделяется при плавке металла в вагранках. Удельные выделения загрязнений от вагранок в пересчете на 1 т плавки составляют: 15–20 кг пыли и 200 кг оксида углерода. Выбросы диоксида серы зависят от содержания серы в шихте и коксе и составляют 1,3–1,7 кг на 1 т плавки. Пыль вагранок содержит оксиды железа, кремния, кальция и др. Много вредных веществ (пыль, CO, SO₂, NO_x и др.) поступает в атмосферу от переработки шихтовых и формовочных материалов. Запыленность воздуха достигает 5–15 г/м³ [7].

1.2 Вентиляция производственных помещений

1.2.1 Виды вентиляции

С целью предупреждения загрязнения воздуха рабочих помещений и удаления избытков тепла, влаги и загрязняющих воздух вредных веществ, прибегают к созданию различных систем вентиляции. Вентиляция – обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых метеорологических условий

и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне при средней необеспеченности 400 ч/г – при круглосуточной работе и 300 ч/г – при односменной работе в дневное время [10].

По способу перемещения воздуха существует два вида систем вентиляции: естественная вентиляция и искусственная.

Естественная вентиляция делится на два подвида: неорганизованная (происходит за счет разности давлений и действия ветра через неуплотненные участки конструкций, а также при открывании дверей и окон) и организованная (происходит за счет разности давлений через специальные приточные и вытяжные проемы, степень открывания которых регулируется). Естественная вентиляция, по умолчанию, делается во всех зданиях. Принцип работы естественной вентиляции показан на рисунке 1.

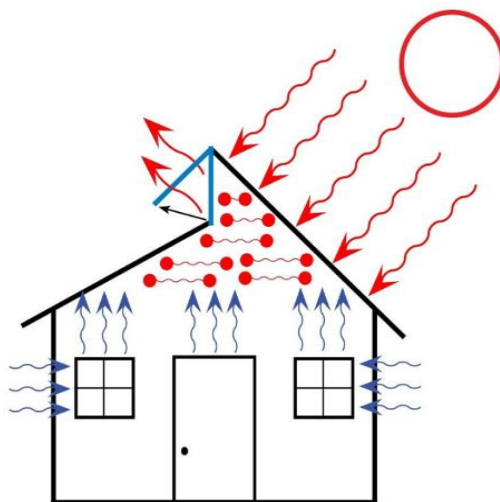


Рисунок 1 – Принцип работы естественной вентиляции

За счет разности температур и плотностей воздуха внутри и снаружи здания возникает естественная тяга в вытяжных зданиях. Приток воздуха осуществляется через открытые окна и фрамуги. В системе нет принудительных вентиляторов, поэтому её эффективность полностью зависит от погодных условий. В теплый период года такая система работать не будет.

К преимуществам естественной вентиляции можно отнести отсутствие механизмов, независимость от электроснабжения, простота обслуживания. Недостатком естественной вентиляции является нестабильная работа в теплые периоды года, нестабильный приток воздуха через окна, отсутствие

фильтрации и подготовки воздуха, сквозняки, высокие требования к вытяжным каналам.

Для усиления тяги при организации естественной вентиляции используют дополнительные возможности – устанавливают крышные дефлекторы (турбодефлекторы). Общая схема турбодефлектора показана на рисунке 2. Также используют настенные вентиляторы.

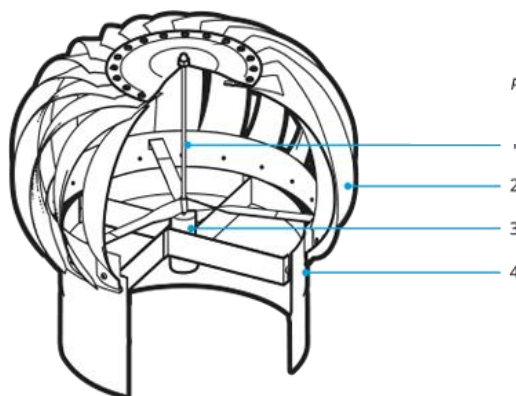


Рисунок 2 – Общая схема турбодефлектора:

1 – ось вращения; 2 – активная головка; 3 – узел вращения; 4 – основание турбодефлектора

Турбодефлектор эффективен только для удаления водяных паров и газов [11]. При всех достоинствах естественной вентиляции она не способна осуществляться или малоэффективна при небольших показателях разницы давлений внутри и снаружи здания, скорости перемещения воздушных масс.

В случае отсутствия благоприятных условий для осуществления естественной вентиляции или для применения в помещениях с большой площадью применяются специальные нагнетатели воздуха (вентиляторы). Такая система называется механической, или искусственной системой вентиляции. Искусственная вентиляция применяется главным образом в общественных и промышленных зданиях, где существует постоянная необходимость воздухообмена. В зависимости от состава системы, направлению действия и зоны обслуживания вентиляция может быть:

- приточная или вытяжная;
- моноблочная или наборная;
- общеобменная или местная.

Приточные установки – это установки обеспечивающие комплексное решение всех задач, связанных с подготовкой воздуха, которые возникают при эксплуатации современных зданий: приток свежего воздуха, нагревание, очистка воздуха от пыли и вредных примесей.

Воздушные потоки принято разделять на продольные, поперечные, диагональные и комбинированные. Схемы движения воздушных потоков представлены на рисунке 3. Продольная схема (а) применяется для проветривания общеобменного проветривания помещений без фиксированного места выделения вредных веществ. По данной схеме происходит нарастание концентрации вредных веществ в направлении к выходу из помещения, в торцах помещения возможны образования вихрей или застойных зон.

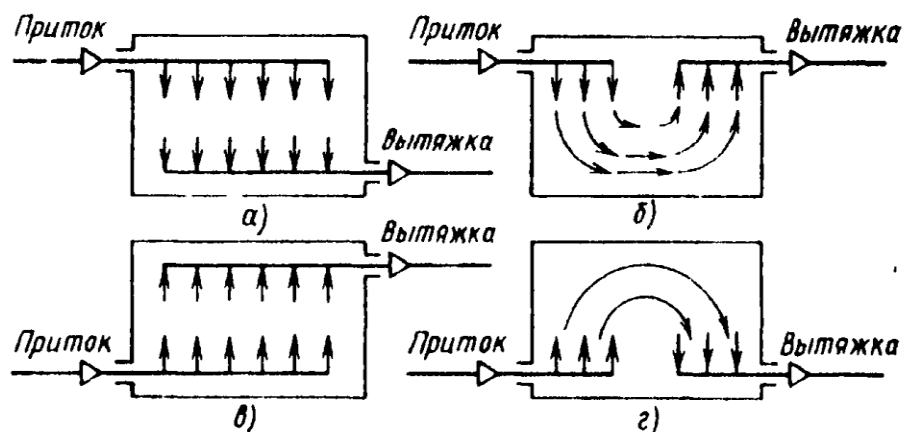


Рисунок 3 – Схемы движения воздушных потоков в помещениях:

а – продольная; б – поперечная с верхним и нижним отсосом; в – диагональная; г – комбинированная

Поперечная схема (б) сложнее и требует большего внимания к организации проветривания помещения. Основным достоинством является равномерное распределение вредных веществ по объему помещения. Схемы (в) и (г) приводят к увеличению количества положительных факторов и уменьшению недостатков.

Приточный воздух необходимо подавать на постоянные рабочие места, если они находятся вблизи источников выделения вредностей, где невозможны установки местных отсосов. Удаление воздуха системами вентиляции предусматривают из зон, где воздух наиболее загрязнен или имеет наиболее

высокую температуру. При выделении пыли или аэрозолей удаление воздуха системой общеобменной вентиляции предусматривают из нижних зон. При выделении вредных или горючих газов и паров воздух удаляют из верхних зон объеме не меньше однократного воздухообмена в час.

Приточно-вытяжная вентиляция применяется преимущественно в производственных помещениях, в которых применение рециркуляции запрещено. Причиной запрета могут являться выделение в воздух помещения токсичных паров и газов, болезнетворных бактерий и т.д. Общий недостаток вентиляционных систем, особенно приточных, – низкая влажность воздуха в вентилируемых помещениях в холодный период года [12]. В районах с суровым климатом и продолжительной зимой это приводит к иссушению слизистых оболочек организма, и, как следствие, к кровотечениям.

Наборная система вентиляции представляет собой комплекс из отдельных компонентов – фильтров, вентиляторов, глушителя, системы автоматики и т.д. Размещение системы обычно происходит за подвесным потолком или в отдельном помещении (венткамере) [13]. Преимуществом системы является универсальность использования в различных помещениях от отдельных квартир до целых зданий. Недостатком является сложность проектирования и монтажа, а также большие габариты системы.

Моноблочная система вентиляции представляет собой единый шумоизолированный корпус, в котором размещаются все компоненты системы [13]. Такие системы могут быть приточными и приточно-вытяжными. Моноблочные приточно-вытяжные установки имеют возможность оснащения рекуператором для экономии электроэнергии.

Местная система вентиляции используется для обеспечения притока свежего воздуха в определенные зоны помещения (местная приточная вентиляция) или отвода загрязненного воздуха от зон скопления вредных выделений (местная вытяжная вентиляция). Местная вентиляция весьма эффективна в тех случаях, когда зоны образования загрязнения воздуха локализованы. Такая система применяется в основном на производстве [14].

Местная вытяжная вентиляция применяется в случаях, когда места выделения вредных веществ локализованы, и их распространение по помещению возможно не допустить. Она обеспечивает улавливание и отвод вредных выделений. Для удаления вредных веществ применяют местные отсосы. При устройстве местной вытяжной вентиляции улавливаемый воздух должен быть предварительно очищен от примесей перед выбросом его в атмосферу. Данная система весьма эффективна, так как позволяет удалять вредные вещества непосредственно у мест их образования. Недостатком местных систем вентиляции является то, что она непригодна, если вредные выделения рассредоточены на значительной площади или в большом объеме. В этом случае подача воздуха не обеспечивает необходимые условия воздушной среды.

Общеобменная система вентиляции используется, как правило, в бытовых условиях и предназначена для вентиляции всего помещения. Общеобменную вентиляцию также подразделяют на приточную и вытяжную. Общая вентиляция устанавливается для ассимиляции избыточного тепла и влаги, разбавления вредных концентраций паров и газов и обеспечения санитарно-гигиенических норм в рабочей зоне.

1.2.2 Анализ нормативной документации по проектированию вентиляции

В России существует система норм и правил при проектировании производственной вентиляции, основными из которых являются:

- МУ 4425-87 «Санитарно-гигиенический контроль систем вентиляций производственных помещений» [15] Методические указания предназначены для применения органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы при осуществлении предупредительного и текущего санитарного надзора за вентиляцией на проектируемых и действующих промышленных предприятиях, а также для санитарных лабораторий и вентиляционных служб предприятий при проведении контроля за системами промышленной

вентиляции, состоянием воздушной среды и микроклиматом производственных помещений;

- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования воздуху рабочей зоны» [16]. Стандарт устанавливает общие санитарно-гигиенические требования к показателям микроклимата и допустимому содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны;

- ГОСТ Р ИСО 9169-2006 «Качество воздуха. Определение характеристик методик выполнения измерений» [17] Настоящий стандарт устанавливает процедуры количественного определения следующих характеристик методик выполнения измерений, используемых при оценке качества воздуха по ИСО 6879: систематической погрешности (частично), градуировочной характеристики, диапазона линейности, стабильности характеристик измерительной системы, предела обнаружения, периода необслуживаемой работы измерительной системы, селективности, чувствительности, верхнего предела измерений;

- ГОСТ 31350-2007 «Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки» [18];

- ГОСТ Р ЕН 13779-2007 «Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования» [19]. Настоящий стандарт содержит требования к системам вентиляции и кондиционирования воздуха с целью обеспечения комфортных условий для находящихся в здании людей и соблюдения условий гигиены в помещениях во все времена года при оправданных капитальных и текущих расходах. В стандарте приведены: параметры воздуха внутри помещений; исходные данные и требования к проектированию; порядок регулирования отношений между различными сторонами, работающими в данной области;

- ГОСТ 30528-97 «Системы вентиляционные. Фильтры воздушные. Типы и основные параметры» [20]. Настоящий стандарт распространяется на воздушные фильтры общего назначения, применяемые для очистки от пыли

наружного и рециркуляционного воздуха в системах приточной вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления.

Для регулирования микроклимата на производстве пользуются требованиями СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [3]. Настоящие Санитарные правила и нормы предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека. Требования распространяются на показатели микроклимата на рабочих местах всех видов производственных помещений и являются обязательными для всех предприятий и организаций.

1.3 Расчёт искусственной вентиляции

Для расчета искусственной вентиляции необходимо придерживаться следующего алгоритма.

1. Наметить наиболее протяженный путь воздуха из последовательно соединенных участков сети воздухопроводов, где будут максимальные потери давления.

2. Принять допустимые максимальные и минимальные скорости движения воздуха в воздухопроводе сети. Максимальная скорость воздуха в магистралях принимается в соответствии с таблицей 2, в ответвлениях скорость воздуха должна быть меньше, чем в магистралях [21].

Таблица 2 – Скорость движения воздуха, допускаемые в воздуховодах приточных и вытяжных систем при механическом побуждении

Элемент системы	Скорость, м/с
Магистральные воздуховоды в производственных зданиях	До 12
Ответвления в производственных зданиях	До 6
Магистральные воздуховоды в общественных и вспомогательных зданиях	До 8
Ответвления в производственных и вспомогательных зданиях	До 5

3. Произвести расчет поперечного сечения воздухопроводов F всех участков сети по формуле [22]:

$$F_c = \frac{L}{V}, \text{ м}^2 \quad (1)$$

где L – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$;

V – скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$.

4. Определить диаметр трубопроводов. При круглом поперечном сечении трубопровода диаметр можно определить по формулам:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = 1,13\sqrt{F} \quad (2)$$

$$d = 1,13\sqrt{\frac{L}{V}} \quad (3)$$

Для квадратных или прямоугольных трубопроводов определяют эквивалентный диаметр по формуле:

$$d_{\text{э}} = \frac{2a \cdot b}{a + b} \quad (4)$$

где a и b – размеры сторон поперечного сечения трубопровода, м .

5. Определить фактическую скорость воздуха V на каждом участке воздухопровода по формуле:

$$V = \frac{L}{F_c} \quad (5)$$

6. Вычислить давление воздуха на каждом участке по формуле:

$$P = \left(l \frac{\lambda}{d} + \sum \xi \right) \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (6)$$

где, l – длина участка, м ;

d – условный коэффициент трения, м^{-1} ;

ξ – коэффициент местного сопротивления;

ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

7. Рассчитать увязку ответвлений. Так как сложные разветвления сети образуются из последовательно или параллельно соединенных ветвей, при их аэродинамическом расчете потери давления оно может не совпадать с давлением в узле, к которому они примыкают. Это может повлечь за собой

перераспределение расхода воздуха в вентиляционной системе. Чтобы сохранить принятые расходы воздуха, необходима увязка ответвлений.

Потери давления на преодоление сопротивления трению в воздуховоде рассчитывают по формуле:

$$P = l \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} = l \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \left(\frac{4L}{\pi d} \right)^2 = l \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{16L^2}{\pi^2 d^4} = 0,975 l \frac{\lambda}{d^5} L^2 \quad (7)$$

При сохранении принятого расхода воздуха и длины ответвлений находят новый диаметр воздухопроводов исходя из соотношения:

$$\frac{P}{P_1} = \frac{\lambda / d^5}{\lambda_1 / d_1^5} \cong \left(\frac{d_1}{d} \right)^5 \quad (8)$$

которое можно привести к виду:

$$d = d_1 \left(\frac{P_1}{P} \right)^{1/5} \quad (9)$$

где d – необходимый диаметр ответвления, м²;

d_1 - расчетный диаметр ответвления, м²;

P - потери давления в магистрали до узла, Па;

P_1 - расчетные потери давления ответвления, Па.

При расчете может понадобиться рассчитывать не только простые, но и сложные ответвления, состоящие из нескольких участков. В этом случае вначале просчитывают магистрали сложных ответвлений и, если суммарные потери давления не будут соответствовать давлению в узле, то все участки ответвления пересчитываются обратно пропорционально отношению давлений в степени 0,2 в соответствии с формулой (9). Затем по значениям пересчитанных давлений ответвления увязывают обычным способом по той же методике.

Для выбора вентилятора необходимо на характеристике последнего нанести характеристику сети в тех же координатах и в том же масштабе.

Характеристики вентиляторов представлены в справочной литературе. [23]. Характеристику сети строят исходя из ее аэродинамического

сопротивления.

В соответствии с законом сопротивления при турбулентном режиме движения воздуха аэродинамическое сопротивление сети находится по следующей формуле:

$$R_c = \frac{P}{L^2} \quad (10)$$

где P – полная потеря давления сети на преодоление сопротивления трению и местных сопротивлений, Н/м²;

L – расход воздуха в сети, м³/с;

R_c – коэффициент, характеризующий геометрию и аэродинамику сети.

Чтобы определить коэффициент R_c , необходимо определить расчетную производительность вентилятора (11) и расчетное давление вентилятора (12, 13).

$$L_{в.р.} = L_c \quad (11)$$

$$P_{в.р.} = R_c \cdot K_{в.р.}^2 \cdot L_c^2 \quad (12)$$

где, K_z – коэффициент запаса по производительности (1,1–1,2),

$$P_{в.р.} = R_c \cdot L_{в.р.}^2 \quad (13)$$

При нахождении режима работы вентилятора методом наложения характеристик необходимо определить следующие параметры: производительность, давление, КПД вентилятора, угловая скорость, окружная скорость ротора вентилятора.

Существует пять видов вентиляционных режимов для приточных систем вентиляции: нормальный, ослабленный, усиленный, нулевой и реверсивный [24]. Каждый вентиляционный режим предназначен для контроля подачи воздуха в помещении и поддержания необходимых показателей микроклимата.

Нормальный режим применим в случаях, если производственный режим работы объекта не изменяется в течении длительного периода и является основным. Ослабленный режим используется при снижении интенсивности выделения вредных веществ и уменьшении количества рабочих. Данный режим наиболее уместен как временный в нерабочее время.

Усиленный режим предусматривают в случаях временного контролируемого увеличения количества выделяющихся вредностей на объекте. Нулевой режим предусматривают в нерабочие смены. Реверсивный режим подходит для функционирования в условиях аварийных ситуаций на производстве в соответствии с планом ликвидации чрезвычайных (аварийных) ситуаций.

Выбор вентилятора и электродвигателя производится с учетом требований строительных норм и правил, защиты от шума, норм пожарной безопасности и электробезопасности.

1.4 Российский и зарубежный опыт в сфере проектирования производственной вентиляции

Промышленная ниша для производителей вентиляции выгодна, поскольку предоставляет крупных платёжеспособных заказчиков. Но для многих промышленных предприятий вытяжные и приточные вентиляционные системы специфичны и поэтому изготавливаются индивидуально, что требует больших трудозатрат, чем при производстве стандартных систем. К тому же предприятий строится меньше и спрос на «тяжёлое» оборудование, в противовес более «лёгким» системам вентиляции для жилых и офисных зданий, падает.

В данном сегменте рынка доминирует вентиляционное оборудование трех европейских производителей: Ostberg (Швеция), Systemair / Kanalflakt (Швеция) и Remak (Чехия) [25]. Эти торговые марки представлены в России уже давно, и их оборудование успело зарекомендовать себя как хорошая элементная база для построения недорогих и надежных наборных систем приточно-вытяжной вентиляции (термин «наборная система» означает, что вентиляционная система собирается, как конструктор, из отдельных комплектующих: вентилятора, фильтра, калорифера, автоматики) [13].

В последние несколько лет на российском рынке появились новые

производители: Wolter (Германия), Ventrex (Восточная Европа), Korf (Россия), Арктос (Россия), Breezart (Россия) и др. [25]. Под этими брендами выпускается достаточно надежное вентиляционное оборудование, поэтому выбор конкретного производителя определяется ценой и субъективными предпочтениями заказчика.

Особое место в данном сегменте занимают моноблочные приточные установки. Эти установки, в отличие от наборных систем, представляют собой готовую вентиляционную систему, все компоненты которой собраны в едином шумоизолированном корпусе. До недавнего времени этот класс вентиляционных установок был дороже аналогичных наборных систем в полтора – два раза. Однако в последнее время несколько производителей выпустили компактные моноблочные системы, стоимость которых очень близка к стоимости наборных систем.

В таблице 3 приведена сравнительная характеристика вентиляционного оборудования ряда российских и зарубежных производителей, которая может быть использована для выбора вентиляционной системы.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика наиболее популярных серий моноблочных систем

Торговая марка	Серия	Страна-производитель	Диапазон производительности, м³/ч	Ценовой диапазон	Особенность/габариты, мм
Ostberg	SAU	Швеция	185–785	Высокий	Электрический нагрев / 225×319×760
Systemair / Pyrox	TLP	Швеция	125–1200	Высокий	Электрический нагрев / 489×489×1004
	TA-Mini	Швеция	150–600	Высокий	Электрический нагрев / 320×320×1040
	F16/ F30/ K25/ CG 23	Европа	1000–5000	Высокий	Водяной нагрев / 358×670×1270
Wolter	ZGK 140- 20 /ZGK 160-40	Германия	800–3700	Высокий	Водяной или электрический обогрев / 335×410×600

Продолжение таблицы 3

Ventrex	TLPV	Германия	125–1200	Средний	Водяной или электрический обогрев / 335×410×600
Арктос	Ком-пакт	Россия	1000–2000	Средний	Водяной или электрический обогрев / 335×410×800
Breezart	Lux, Aqua, Mix, Cool	Россия	350–16000	Средний	Водяной или электрический обогрев, встроенная автоматика, встроенный смесительный узел / 468×235×745
Колибри	-	Россия	500–1000	Средний	Электрический обогрев, встроенная автоматика / 530×300×465

Особенностью при проектировании системы вентиляции производственного цеха является необходимость достижения высоких результатов очищения воздушных масс, при относительно низких затратах энергии. Кроме того, процесс вентиляции производственного помещения должен быть бесперебойным – поэтому, помимо основной вентиляционной системы, предусматривается монтаж дополнительной (аварийной вентиляции), которая должна функционировать настолько же эффективно и продуктивно, как и основная [26].

Вентиляция сварочного цеха производится преимущественно путём использования местных отсосов (рис.4).



Рисунок 4 – Местный отсос

Это позволяет получить требуемую эффективность и обеспечить

санитарно-гигиенические требования к составу воздуха в помещении. Как правило, общеобменную систему рассчитывают по общей схеме по количеству работающих людей и все вредные вещества отводят непосредственно от рабочих мест при помощи местных отсосов. Добиться наибольшей эффективности от местных отсосов можно только путем точного следования проекту вентиляции [27].

Проще всего обеспечить качественную вентиляцию там, где производятся одни и те же работы, с использованием однотипных материалов и заготовок. Гораздо сложнее, если детали разного размера, меняется тип металла, используются разные виды технологического процесса. В таких условиях обеспечить качественное отведение вредных веществ можно только с использованием местных вытяжных зонтов и местных отсосов.

1.5 Система рекуперации тепла

Рекуперация тепла в системах вентиляции является достаточно новой технологией [28]. В ее основе лежит возможность обогревать помещение за счет удаляемого при вентиляции тепла.

Под рекуперацией тепла понимают его сохранение. Выходящий поток воздуха меняет температуру подаваемого воздуха приточно-вытяжной установки. Конструкция рекуператора предполагает собой разделение воздушных потоков для предотвращения их смешивания. По сути, рекуператор воздуха – это устройство, которое обеспечивает утилизацию тепла отводимых газов. Сквозь перегородку происходит теплообмен воздушных потоков, но при этом их направление не меняется.

Вентиляционная система с рекуперацией тепла способна выдавать большой КПД (до 90 %) который зависит от типа рекуперативного узла, скорости движения воздушных потоков и разницы температуры внутри и снаружи помещения [29]. Недостатком такой технологии является снижение эффективности работы на больших площадях.

Наибольшую популярность имеют системы вентилирования с централизованными теплообменниками. Не менее популярны и некоторые другие теплообменники, например:

- пластинчатые;
- роторные;
- камерные;
- с промежуточным теплоносителем и др.

Также существует целый класс вентиляционного оборудования с элементами энергосберегающих технологий. Это приточно-вытяжные системы с рекуперацией тепла. При этом происходит частичная передача тепла от вытяжного воздуха к приточному с помощью специального устройства – рекуператора. Такие системы позволяют экономить до 80% энергии, затрачиваемой на обогрев в холодное время года [30]. Однако в настоящее время установки с рекуперацией не получили широкого распространения из-за высокой стоимости и технической сложности реализации подобных схем.

Теплообменники пластинчатого типа являются наиболее простыми конструкциями для систем вентиляции (рис. 5). Он имеет вид камеры, которая поделена на отдельные каналы параллельно друг другу. Между этими каналами имеется тонкая перегородка, имеющая высокие теплопроводные свойства.

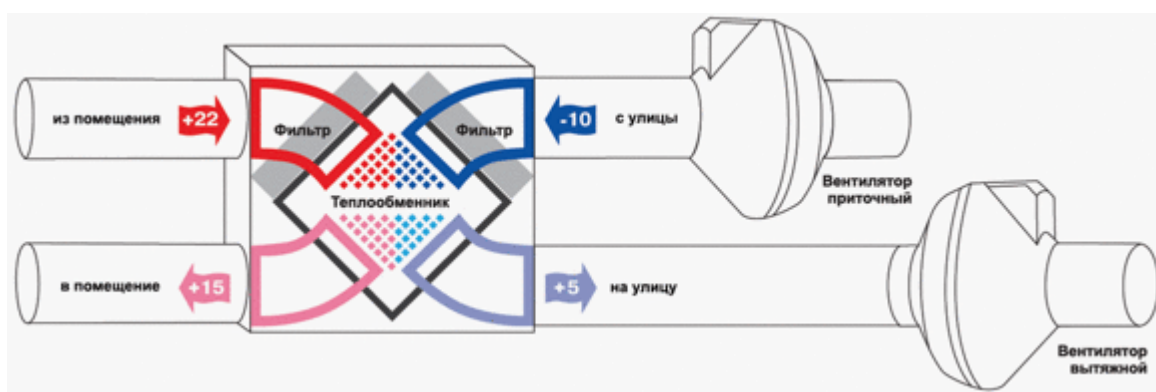


Рисунок 5 – Схема теплообменника пластинчатого типа

Преимуществами данного типа теплообменника являются простота настройки, отсутствие движущихся деталей и большая эффективность. Недостаток пластинчатых теплообменников – образование конденсата внутри

устройства [31,47].

Теплообменники роторного типа имеет очень высокую эффективность работы (возвращает в помещение до 80 % отобранного тепла) [32]. Главную роль на себя берет ротор, который располагается между воздуховодными каналами и нагревает воздух по средствам постоянного вращения (рис. 6). Существенным недостатком такого устройства является неполноценность работы в отношении пыли и неприятных запахов. В не плотностях между ротором и корпусом потоки воздуха могут периодически смешиваться и все загрязнения могут вновь попасть внутрь помещения.

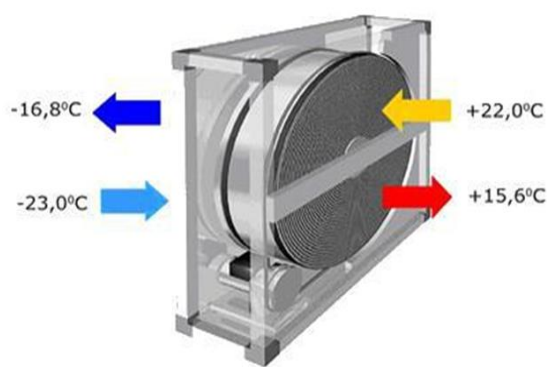


Рисунок 6 – Принцип работы роторного теплообменника

В теплообменниках камерного типа воздушные потоки разделены непосредственно самой камерой. Обмен тепла происходит благодаря заслонке, которая меняет направление потоков воздуха. Недостатком системы является наличие подвижных деталей внутри устройства, из плюсов – высокая производительность.

1.6 Выводы по главе 1

Таким образом, из вышеизложенного следует сделать вывод, что система вентиляции необходима человеку в первую очередь для поддержания комфортного микроклимата в помещении. Она способна не только удалить загрязнения в воздухе, но также поддерживать заданный уровень влажности и температуры воздуха, что крайне важно. От состояния микроклимата в

помещении напрямую зависит работоспособность и самочувствие человека: при содержании в воздухе различных примесей, недостаточном или избыточном нагреве воздуха и несоответствующей нормам влажности могут возникнуть различные заболевания, а при постоянном застаивании воздуха развиваться и хронические формы таких заболеваний.

Система вентиляции подразделяется на искусственную и естественную. Естественная вентиляция происходит за счет разности давлений и температур снаружи и внутри помещения. Искусственная вентиляция подразумевает под собой использование дополнительного движителя для прогонки воздуха – вентилятора [46]. Вентилятор может работать как на удаление, так и на нагнетание воздуха в помещении. В промышленности искусственная вентиляция имеет наибольшую эффективность.

Система рекуперации тепла предназначена для создания и поддержания в помещении постоянного температурного режима. Она позволяет возвращать тепло отработанного воздуха обратно в помещение, тем самым сохраняя постоянную температуру внутри здания. Система рекуперации тепла позволяет снизить затраты на нагрев воздуха при помощи отопления.

2 Общая характеристика объекта исследования

2.1 Общее представление об учебной лаборатории ЮТИ ТПУ

Объектом исследования является учебно-лабораторный корпус ЮТИ ТПУ. Учебно-лабораторный корпус расположен в г. Юрга по ул. Московской, 17 б. Здание учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ имеет общую площадь равную 540 м² (размеры помещения 18×30 м). Рабочая площадь здания – 340 м². В лабораторном корпусе имеются следующие помещения: рабочая зона, зона отдыха, зона хранения. Расположение помещений лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ показано в приложении А. В помещениях учебного корпуса одновременно могут производить работы 10 человек.

В рабочей зоне расположено оборудование для сварки, резки и нагрева различных видов металла (сварочные аппараты аргонодуговой сварки в количестве 7 шт., аппарат плазменной резки металла с использованием аргона в количестве 1 шт., металлургические печи с температурой нагрева до 1300°С в количестве 3 шт.). Категория работ в помещении – Пб (в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 [3] ТНС-индекс (индекс тепловой нагрузки среды, характеризующий сочетание действия на человека параметров микроклимата) – 19,5-23,9; интенсивность энергозатрат при выполнении работ – 233-290 Вт [1]. Для данного вида работ установлены следующие показатели микроклимата помещения (таблица 4).

Таблица 4 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	17–19	16–20	60–40	0,2
Теплый	19–21	18–22	60–40	0,2

Отопление осуществляется от системы центральной теплоцентрали. В

качестве отопления используются промышленные радиаторы с установленными на них вентиляторами. В радиаторы подается горячая вода из системы центрального отопления, а тепло распространяется благодаря дующим вентиляторам. Регулировка температуры осуществляется за счет кранов, ограничивающих подачу воды в радиаторы.

Освещение здания происходит за счет светодиодных светильников Smartbuy (мощность 40 Вт, степень защиты IP65) – пылевлагозащищенный энергосберегающий светильник со светодиодными модулями, предназначен для освещения помещений с повышенной влажностью и запыленностью. Всего в помещении расположено 65 светильников.

2.2 Оборудование учебной лаборатории ЮТИ ТПУ

В рабочей зоне расположены индивидуальные сварочные кабины в количестве 7 шт. В каждой кабине расположено сварочное полуавтоматическое оборудование марки «Шторм-Lorch» серии «TIX». Технические характеристики сварочного полуавтоматического оборудования марки «Шторм-Lorch» серии «TIX» приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики полуавтоматическое оборудование марки «Шторм-Lorch»

Характеристики	Единица измерения	Значение
Вес брутто	кг	14,4
Выходной ток	А	32-100
Максимальный сварочный ток	А	100
Максимальная мощность	Вт	2400
Максимальны диаметр проволоки	мм	0,8
Минимальный диаметр проволоки	мм	0,6
Напряжение	В	220
Минимальное входное напряжение	В	180
Степень защиты от пыли и влаги		IP 21S

Для сварки используют углекислый газ и аргон, хранящиеся в баллонах. Сварочные работы проводят как с черными металлами, так и с алюминиевыми сплавами. В процессе работы в воздух попадает довольно большое количество

сварочных аэрозолей, поэтому над рабочими столами сварочной кабины установлены вытяжные зонты (рис. 7).



Рисунок 7 – Зонты вентиляционной системы учебно-лабораторного корпуса
ЮТИ ТПУ

Плазморез – устройство для раскройки металла. Используется плазморез «Сварог» CUT 160. Технические характеристики плазмореза «Сварог» CUT 160 приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики плазморез «Сварог» CUT 160

Характеристики	Единица измерения	Значение
Напряжение питающей сети	В	380 ±15%
Потребляемая мощность	кВА	29
Частота питающей сети	Гц	50
Потребляемый ток	А	44
ПН (40°C)		0,6
Ток реза (ПН 100%)		123
Способ возбуждения дуги		Высокочастотный
Диапазон регулирования тока реза	А	30-160
Напряжение холостого хода	В	285
Номинальное давление компрессора	мПа	0,7
Скорость подачи сжатого воздуха	л/мин	350
Максимальная толщина разрезаемого металла	мм	55
Коэффициент мощности		0,8
КПД		0,88
Класс изоляции		F
Класс защиты		IP 21S
Габариты	мм	610x325x575
Вес	кг	50

При работе на плазморезе происходит сильное задымление воздуха за счёт выделения высокая концентрация твердых частиц, поэтому над этим

оборудованием установлены вытяжные зонты. Количество и состав опасных веществ зависят от состава заготовки и выбранных параметров резки. При больших токах и высоких скоростях резки в единицу времени производится значительно больше частиц.

В современных чугунолитейных цехах в качестве плавильных агрегатов применяют водоохлаждаемые вагранки закрытого типа, индукционные тигельные печи повышенной и промышленной частоты, дуговые печи типа ДЧМ, установки электрошлакового переплава, вакуумные печи различных конструкций и т.п.

В зоне, расположенной вблизи входа в здание (приложение А), находятся металлургические печи, предназначенные для производства сплавов различных металлов – печи марок СШОЛ 35/11, ЭКПС-50 и вакуумная электропечь «Таммана». Печь марки СШОЛ применяется для обжига изделий, плавки и термообработки металлов при температуре до 1150°C. Технические характеристики печи СШОЛ 35/11 приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики печи марок СШОЛ 35/11

Характеристики	Единица измерения	Значение
1	2	3
Максимальная рабочая температура	°C	1150
Среда в рабочем пространстве		воздух
Отклонение от заданной температуры	°C	5
Количество ступеней нагрева		16
Задаваемая скорость нагрева	°C/мин	0,1-20
Диапазон задания времени выдержки	мин	0-999
Размеры рабочей камеры	мм	300x500

Печь марки ЭКПС-50 работает в двух режимах – закрытый (температура нагрева до 1100°C с помощью нагревательных элементов внутри печи) и открытый (температура нагрева до 1300°C). Предназначена для отжига, закалки стали и других металлов при высоких температурах. Для удобства пользования данное оборудование оснащено терморегулятором на девять временных диапазонов. В процессе работы на данных аппаратах происходит выброс продуктов сгорания, таких как пыли минерального происхождения, содержащие диоксид кремния, а также оксиды хрома и марганца, которые

являются канцерогенными веществами в атмосферу рабочего помещения, поэтому над ними установлены вытяжные зонты. Печь марки ЭКПС-50 предназначена для выполнения лабораторных аналитических работ; выплавки и выжига восковых моделей из литейных форм, обжига литейных форм, термической и высокотемпературной обработки материалов и металлов в воздушной среде, плавки и пайки цветных металлов и т.п. Технические характеристики печи марок ЭКПС-50 приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики печи марок ЭКПС-50

Характеристики	Единица измерения	Значение
Объем рабочей камеры	л	50
Максимальная рабочая температура	°С	1300
Размеры рабочей камеры, не менее (ШхВхГ)	мм	290х360х440
Максимальное время разогрева до максимальной рабочей температуры, мин, не более	мин	100
Мощность	кВт	5,5
Напряжение сети	В	220
Габаритные размеры с автономной вытяжкой (ШхВхГ)	мм	648х1040х895
Габаритные размеры без автономной вытяжки (ШхВхГ)	мм	648х870х730
Масса	кг	83
Гарантийный срок	мес.	12

Вакуумная электропечь «Таммана» предназначена для комплексных технологических исследований процессов при прокаливании и плавлении порошкообразных и кусковых материалов, а также при твердофазных, гетерофазных и жидкофазных эндотермических реакциях. Технические характеристики вакуумной электропечи «Таммана» приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики вакуумной электропечи «Таммана»

Характеристики	Единица измерения	Значение
Мощность номинальная	кВт	77,7
Мощность установленная	кВт	50
Температура рабочего пространства	кВт	2100
Размеры рабочего пространства (посты 1 и 2)	мм	
-длина		240
-диаметр		55
Масса садки не более, кг	кг	0,5

Продолжение таблицы 9

Среда рабочего пространства	-	Вакуум, инертный газ
Предельное остаточное давление	Па, (мм.рт.ст.)	1,33 (0,01)
Номинальное напряжение питающей сети	В	380/220
Номинальная частота тока	Гц	50
Число фаз нагревателя		1
Расход охлаждающей воды	куб.м./ч	1,5

Оставшаяся в помещении свободная зона используется для хранения и технического обслуживания автомобильного транспорта.

2.3 Характеристика системы вентиляции учебной лаборатории ЮТИ ТПУ

В настоящий момент в здании учебно-лабораторного корпуса установлена система вытяжной вентиляции, проходящая через все рабочие зоны. В ходе личного общения с сотрудниками данного корпуса было выявлено, что данная система не в полном объеме справляется со своим предназначением. Были проведены замеры скорости потоков забираемого воздуха непосредственно в действии вытяжного зонта. Для данной цели был использован прибор для измерения скорости движения воздуха – анемометр ручной крыльчатый, марки АСО-3 (рис. 8). Перед началом работы было необходимо записать начальные данные с циферблата 14, на которые указывала стрелка 13. Далее прибор устанавливается в зоне измерения так, чтобы ось вращения 5 крыльчатки располагалась параллельно направлению воздушного потока. После того, как скорость вращения крыльчатки 1 становится равномерной, включается отсчетный механизм при помощи арретира 16 и секундомер. Через минуту работы прибора счетный механизм отключается и проверяются показания на циферблате.

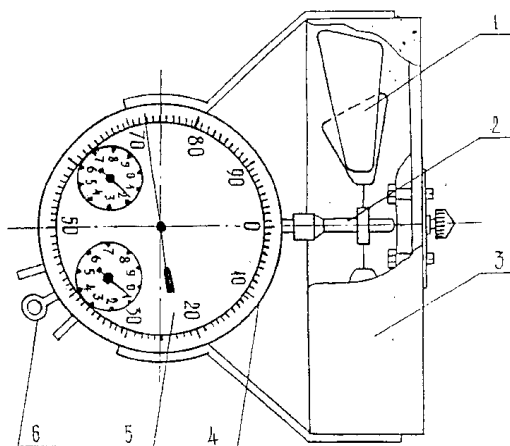


Рисунок 8 – Устройство анемометра крыльчатого АСО-3:

1 – крыльчатка, 2 – стержень, 3 – ось трубчатая, 4 – пружина, 5 – ось стальная, 6 – втулка, 7 – гайка, 8 – пружина, 9 – втулка подшипниковая, 11 – ручка, 12 – червяк, 13 – стрелка шкалы единиц, 14 – циферблат, 15 – ушко, 16 – арретир, 17 – стрелка шкалы тысяч, 18 – стрелка шкалы сотен

От конечных показаний отнимали начальные и делили на время проведения замеров (60 с). Это значение по градуировочному графику переводилось в искомое значение (рис. 9).

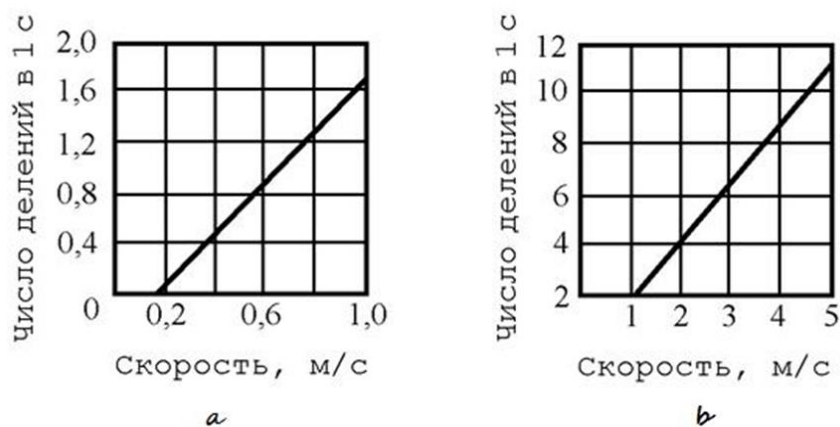


Рисунок 9 – Градуировочный график для вычисления средней скорости движения воздуха:

а – для значений показаний менее 2 делений в секунду, б – для значений показаний от 2 до 12 делений

После проведения замеров скорости потока воздуха в трех рядом стоящих вытяжных зонтах были получены следующие значения – 217, 195 и 255 делений за 60 с. Для расчета числа делений в секунду необходимо было разделить зафиксированное прибором число делений на время проведения замеров, что соответствует 3,6; 3,25 и 4,25 делений в секунду соответственно.

Для нахождения скорости потока воздуха необходимо найти среднее значение делений в секунду. Оно равно 3,7 делениям в секунду. Искомую скорость потока воздуха определяем по графику b (рисунок 9). Средняя скорость потока воздуха в системе вентиляции составляет 1,5 м/с. Таким образом, средняя скорость воздуха в системе вентиляции не соответствует требованиям [33].

Существующая система вентиляции оснащена ручными задвижками, перекрывающими обмен воздушными потоками на определенном зонте. При блокировке нескольких вытяжных зонтов скорость воздушных потоков на остальных зонтах увеличивается. Это позволяет увеличить эффективность вентиляции в местах проведения непосредственных работ за счет отключения от вентиляционной сети неиспользуемых в работе зон.

Следовательно, если модернизировать действующую систему вентиляции, можно существенно улучшить микроклимат производственного помещения. Для сохранения тепла в помещении возможна установка рекуператора тепла, для удобства управления вытяжками – оснащение задвижек автоматической системой срабатывания, целесообразна установка фильтров для защиты окружающей среды от вредного воздействия сварочных аэрозолей.

3 Расчёты и аналитика

3.1 Выбор системы вентиляции

Для описанного в главе 2 помещения, с избыточным выделением в воздух тепла и пыли, наиболее эффективной системой проветривания является установка механической (искусственной) вентиляционной сети. В связи с этим проектным решением предлагается установить в здании учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ комбинированную приточно-вытяжную систему вентиляции. В зоне проведения работ проектным решением предлагается местную вытяжную вентиляцию для отбора вредных выделений непосредственно в месте их образования; по периметру помещения провести общую приточную вентиляцию для разбавления концентрации не уловленных местной вентиляцией вредных веществ и обеспечения нормируемых показателей микроклимата помещения.

Для функционирования вентиляционной системы в здании учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ предлагается применение нескольких режимов работы:

- нормальный (в периоды нахождения в помещении людей);
- усиленный (непосредственно при проведении работ в здании объекта);
- нулевой (в нерабочие смены);
- реверсивный (для работы в условиях ЧС или аварий).

Для проектирования вентиляционной сети учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ предлагаем использовать поперечную схему воздухообмена для притока чистого воздуха согласно требованиям [1, 3, 16, 17].

Проанализировав имеющиеся на рынке вентиляционных систем предложения и с учётом данных, полученных в п.1.4, используем для рассматриваемого объекта следующее оборудование:

- вентиляционная установка Salda RIRS 3000 HW (производитель «Salda», Германия);

- воздушный фильтр-бокс Shuft с фильтром FBCr 250 (производитель Shuft, Россия);
- вентилятор модели ВР 280-46-2,5 (ООО «ВентЭл», г. Москва);
- вытяжные устройства – местные отсосы KUA-200-2S (производитель АО «СовПлим», г. Санкт-Петербург).

Вентиляционная установка Salda RIRS 3000 HW предназначено для подогрева приточного воздуха с помощью использования тепла уже отработанного, удаляемого воздуха. Роторный рекуператор RIRS представляет собой металлический цилиндр, в котором расположена слоями специальная профилированная сталь. Цилиндр крепится на оси вентиляционного агрегата. В процессе вращения барабана ротор перемещается между приточным и вытяжным трактом агрегата. Пластины утилизатора нагреваются вытяжным и охлаждаются приточным воздухом. Вентиляционная система RIRS фильтрует, подогревает, осуществляет подачу чистого и удаление грязного воздуха. Роторный теплообменник возвращает уходящее тепло и влагу назад в помещение. Технические характеристики вентиляционной установке Salda RIRS 3000 HW приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики вентиляционной установке Salda RIRS 3000 HW

Характеристики	Единица измерения	Значение
Максимальная производительность	м ³ /ч	3000
Масса	кг	410
Мощность	кВт	11,2
Потребляемая мощность	кВт	2,50
Напряжение	В	220
Гарантийный срок	мес.	12
Тип калорифера		водяной

Вентилятор центробежный ВР 280-46-2,5 предназначен для вентиляции воздуха в самых разнообразных по площади и назначению помещениях. Устанавливается в обычных вентиляционных и отопительных системах. Используется в производственных технологических установках.

Центробежные вентиляторы этого типа рассчитаны на перемещение малозапылённых воздушных масс и газозвудушных смесей (с содержанием в

них пыли до 0.1 г/м³), с температурой до 80°C для стандартных вентиляторов и до 120°C – для теплостойких, без волокнистых, липких, взрывоопасных компонентов. Технические характеристики центробежного вентилятора ВР 280-46-2,5 приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики центробежного вентилятора ВР 280-46-2,5

Характеристики	Единица измерения	Значение
Габаритные размеры	мм	460x190x198
Масса	кг	53
Мощность	кВт	7,5
Частота вращения	об./мин	3000
Полное давление	Па	1600-2000
Максимальная производительность	м ³ /ч	2000

Воздушные фильтры серии FBC предназначены для очистки от пыли наружного и рециркуляционного воздуха в системах приточной и вытяжной вентиляции. Фильтруемый воздух не должен содержать агрессивных газов и паров. Корпус фильтра сделан из оцинкованной стали. В качестве фильтрующих вставок использован синтетический материал. Корпус фильтра снабжен круглыми патрубками с резиновыми уплотнителями для подсоединения к другим элементам системы. Технические характеристики Воздушного фильтра Shift с фильтром FBCr 250 приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики воздушного фильтр-бокса Shift с фильтром FBCr 250

Характеристики	Единица измерения	Значение
Габаритные размеры	мм	390x328x310
Масса	кг	4,5
Сечение	мм	250
Тип фильтра		панельный
Назначение фильтра		воздушный

Вытяжное устройство повышенной производительности KUA-200 предназначено для удаления различных видов дыма, пыли, газов, аэрозолей и других вредных веществ от локального источника выделения. Вытяжное устройство эксплуатируется в составе системы вытяжной вентиляции, а также может подключаться непосредственно к индивидуальному вентилятору или к фильтру воздуха. Температура перемещаемой воздушной среды не должна

превышать 70°C.

3.2 Разработка схемы вентиляции

Принимая в учет выбранные выше способ проветривания, вентиляционный режим и организацию воздухообмена помещения, а также размеры помещения и места выделения вредных веществ, необходимо разработать схему вентиляции.

Для расчета параметров системы вентиляции необходимо построить аксонометрическую схему данного проекта. Чертеж представлен в приложении Б. Система вентиляции состоит из трех отдельных ветвей, для каждой из которых необходимо провести расчеты.

3.2.1 Расчёт системы вентиляции в зоне металлургической печи

В данной зоне у нас происходит интенсивное выделение теплоты и загрязнение воздуха. Магистраль обозначена на схеме а-б-в-г-д. Для определения воздуха при избытке тепла для его удаления считают по формулам (16-25):

$$L = V \cdot F \quad (16)$$

где, F – площадь открытого проема, м².

$$A = a + 0,8 \cdot H \quad (17)$$

$$B = b + 0,8 \cdot H \quad (18)$$

где, A и B – размеры зонта, м;

H – расстояние от оборудования до низа зонта, м;

a и b – размеры источника вредных выделений, м,

$$H \leq 1,5\sqrt{F} \quad (19)$$

Размеры источника выделения вредностей равны $a=0,4$ м и $b=0,6$ м. Принимая в расчет данные оборудования и микроклимата по формулам (17-19)

рассчитаны значения:

$$H = 1,5\sqrt{0,4} \cdot \sqrt{0,6} = 0,73 \text{ м,}$$

$$A = 0,4 + 0,8 \cdot 0,73 = 0,98 \text{ м,}$$

$$B = 0,6 + 0,8 \cdot 0,73 = 1,18 \text{ м.}$$

Данные по расчетам вносятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Данные для расчета воздуховода

№ участка	l, м	L, м ³ /ч	d, м/сек	V, м/с	Сш	л/d	Ртр, Н/м ³	Рм.с., Н/м ³	ζ	Руч, Н/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А	4,57	1442,6	280	6,5	1,070	0,062	7,68	49,43	1,95	57,11
Б	5,5	2885,2	400	6,3	1,068	0,045	10,49	9,52	0,4	20,01
В	1,5	2889,7	355	8,1	1,078	0,043	2,73	-	-	2,73
Г	1,5	2894,2	315	10,3	1,090	0,049	5,09	-	-	5,09
Д	8	2898,7	280	13,1	1,110	0,053	48,45	41,18	0,4	89,63
5	2	4,5	50	0,5	1,008	0,400	0,12	0,40	1,35	0,52
4	2	4,5	50	0,5	1,008	0,400	0,12	0,40	1,35	0,52
3	2	4,5	50	0,5	1,008	0,400	0,12	0,40	1,35	0,52
2	2,57	1442,6	280	6,5	1,070	0,062	7,68	22,81	0,9	30,49

Интервал для скоростей по магистрали рассчитывается по формуле (16):

$$\Delta V_{\text{уч}} = \frac{12 - 6}{5 - 1} = 1,5 \text{ м/с}$$

Исходя из этого принимаем примерную скорость воздуха по путям магистрали а, б, в, г, д соответственно 6, 7,5, 9, 10,5, 12 м/с.

Диаметр воздуховода (круглого сечения) рассчитывается по формуле (20):

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot L}{3600 \cdot \pi \cdot V_{\text{пр}}}} \text{ м/с,} \quad (20)$$

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \cdot 1442,6}{3600 \cdot 3,14 \cdot 6,5}} = 0,28 \text{ м/с,}$$

$$d_b = \sqrt{\frac{4 \cdot 2885,2}{3600 \cdot 3,14 \cdot 6,3}} = 0,403 \text{ м/с,}$$

$$d_v = \sqrt{\frac{4 \cdot 2889,7}{3600 \cdot 3,14 \cdot 8,1}} = 0,355 \text{ м/с,}$$

$$d_r = \sqrt{\frac{4 \cdot 2884,2}{3600 \cdot 3,14 \cdot 10,3}} = 0,315 \text{ м/с},$$

$$d_d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2898,7}{3600 \cdot 3,14 \cdot 13,1}} = 0,279 \text{ м/с},$$

$$d_{5,4,3} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,5}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,5}} = 0,056 \text{ м/с},$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1442,6}{3600 \cdot 3,14 \cdot 6,5}} = 0,28 \text{ м/с}.$$

Согласно ГОСТ 24751-81 [42] подбираем трубопроводы номинального диаметра, который должен быть больше или равен расчетному. Результаты представлены в таблице 13.

Физическая скорость движения воздуха в трубопроводе на участках определяют по формуле (13). Значения приведены в таблице 13.

Для дальнейших вычислений необходимо определить поправочный коэффициент $C_{ш}$, который учитывает шероховатость внутренней поверхности воздухопроводов и зависит от скорости воздуха и абсолютной шероховатости стенок K . Стенки воздуховода будут производиться из оцинкованной стали. В этом случае абсолютная шероховатость стенок составит 0,2 мм. Исходя из этого поправочный коэффициент будет изменяться в зависимости от расчетной скорости воздуха от 1,008 до 1,110. Все значения занесены в столбец 6 таблицы 13.

Потери давления в сети рассчитываем исходя из данных таблицы 13. Для расчетов так же необходимо определить условный коэффициент трения (L/d).

Значения представлены для стандартных условий воздуха и занесены в столбец 7 таблицы 13.

Потери давления на преодоление сопротивления трения рассчитывается по формуле (19):

$$P_{тр а} = 1,070 \cdot 4,57 \cdot 0,062 \cdot 1,2/2 \cdot 6,5^2 = 7,68 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{тр б} = 1,068 \cdot 5,5 \cdot 0,045 \cdot 1,2/2 \cdot 6,3^2 = 10,49 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{\text{тр в}} = 1,078 \cdot 1,5 \cdot 0,043 \cdot 1,2/2 \cdot 8,1^2 = 2,73 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{\text{тр г}} = 1,090 \cdot 1,5 \cdot 0,049 \cdot 1,2/2 \cdot 10,3^2 = 5,09 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{\text{тр д}} = 1,110 \cdot 8 \cdot 0,053 \cdot 1,2/2 \cdot 13,1^2 = 48,45 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{\text{тр 5,4,3}} = 1,008 \cdot 2 \cdot 0,400 \cdot 1,2/2 \cdot 0,5^2 = 0,12 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{\text{тр 2}} = 1,070 \cdot 2,57 \cdot 0,062 \cdot 1,2/2 \cdot 6,5^2 = 7,68 \text{ Н/м}^2.$$

Так же необходимо рассмотреть участки с местным сопротивлением.

На участке имеются следующие местные сопротивления:

- местный отсос с коэффициентом местного сопротивления $\zeta=1,3$;
- ответвление под углом 90° с отношением $dr = 1,0$, имеющий коэффициент $\zeta=0,4$;
- индивидуальная заслонка, имеющая коэффициент $\zeta=0,0-100$ в зависимости от степени открытия; в рабочем режиме коэффициент сопротивления принимается равным $\zeta=0,0$;
- диффузор с постепенным расширением имеющий коэффициент $\zeta=0,25$.

Суммарный коэффициент местного сопротивления на участке а равен:

$$\sum \zeta = 1,30 + 0,40 + 0,25 + 0,00 = 1,95.$$

Для участка Б определены следующие местные сопротивления:

- тройник на выход с соотношением $= 1,0$ с коэффициентом на проход $\zeta=0,0$;
- ответвление под углом 90° с отношением $= 1,0$, имеющий коэффициент $\zeta=0,4$;

Суммарный коэффициент местного сопротивления на участке а равен:

$$\sum \zeta = 0,4.$$

На участках в и г местное сопротивление отсутствует.

На участке д имеются следующие местные сопротивления:

- ответвление под углом 90° с отношением $= 1,0$, имеющий коэффициент $\zeta=0,4$;

Суммарный коэффициент местного сопротивления на участке д равен:

$$\sum \zeta = 0,4.$$

Значения суммарных местных сопротивлений на ответвлениях

представлены в столбце 10 таблицы 13.

Подсчет потерь давления на преодоление местных сопротивлений на каждом участке произведем по формуле (6):

$$P_{\text{м.с.а}} = 4,57 \cdot 0,6/2 \cdot 6,5^2 = 49,42 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{\text{м.с.б}} = 5,5 \cdot 0,6/2 \cdot 6,3^2 = 9,52 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{\text{м.с.л}} = 8 \cdot 0,6/2 \cdot 13,1^2 = 41,18 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{\text{м.с.5,4,3}} = 2 \cdot 0,6/2 \cdot 0,5^2 = 0,4 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{\text{м.с.2}} = 2,57 \cdot 0,6/2 \cdot 6,5^2 = 22,81 \text{ Н/м}^2$$

Результаты расчетов занесены в строку 9 таблицы 13. Потери давления на каждом участке вычисляются по формуле (20):

$$P_{\text{уч а}} = 7,68 + 49,43 = 57,11 \text{ Н/м}^3$$

$$P_{\text{уч б}} = 10,49 + 9,52 = 20,01 \text{ Н/м}^3$$

$$P_{\text{уч в}} = 2,73 \text{ Н/м}^3$$

$$P_{\text{уч г}} = 5,09 \text{ Н/м}^3$$

$$P_{\text{уч д}} = 48,45 + 41,18 = 89,63 \text{ Н/м}^3$$

$$P_{\text{уч 3,4,5}} = 0,12 + 0,4 = 0,52 \text{ Н/м}^3$$

$$P_{\text{уч 2}} = 7,68 + 22,81 = 30,49 \text{ Н/м}^3$$

Результаты расчетов занесены в строку 9 таблицы 13.

Потери давления на каждом участке вычисляются по формуле (10):

$$R_c = \frac{206,62}{\frac{2898,7}{3600}} = 318,85 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$$

С учетом коэффициента запаса по расходу $K_3=1,1$, расчетная производительность вентилятора вычисляется по формуле (11):

$$L_{\text{в.р.}} = 1,1 \cdot 2898,7 = 3188,57 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетное давление, создаваемое вентилятором, рассчитывается по формуле (13). Для выбора вентилятора необходимо построить характеристику сети. По формуле вычисляем необходимое значение создаваемого вентилятором давления по формуле (13). Расчетное давление равно $P_{\text{в.р}} = 248,7 \text{ Н/м}^2$. Подбираем вентилятор, который будет работать при такой нагрузке. Для

работы будем опираться на рабочие характеристики промышленного вентилятора низкого давления ВР86-77м-3,15 [5]. Характеристика вентилятора представлена на рисунке 10.

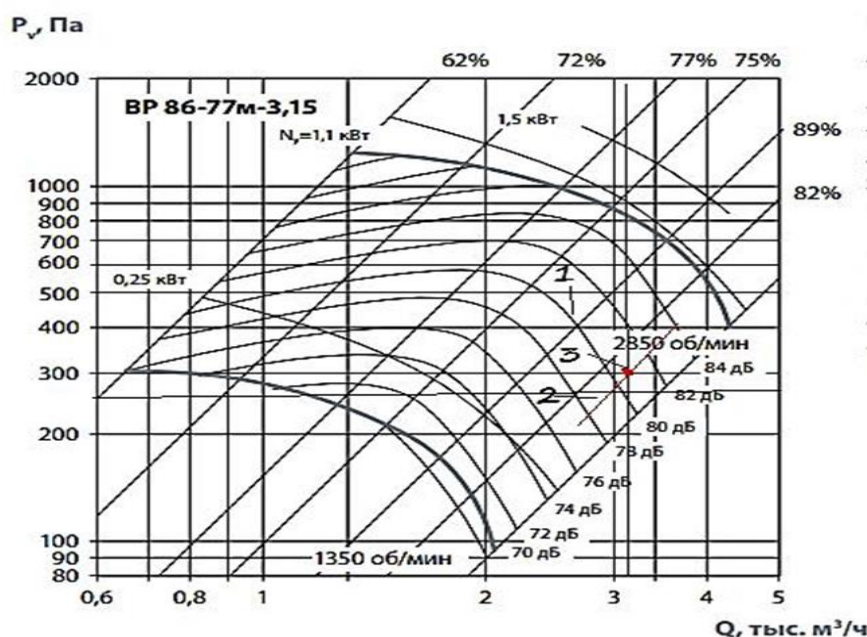


Рисунок 10 – Рабочая характеристика вентилятора ВР86-77м-3,15:

1 – характеристика сети, 2 – характеристика вентилятора, 3 – расчетный режим работы

Число оборотов вентилятора составит 2000 мин^{-1} . Мощность вентилятора составит 0,3 кВт, КПД=80%.

3.2.2 Расчёт системы вентиляции в зоне сварочных аппаратов

Для вентиляции данной зоны запланирован воздуховод, объединяющий семь отсосов. После забора загрязненного воздуха, при помощи вентилятора по общему трубопроводу он поступает на фильтр очистки и в дальнейшем очищенный воздух выбрасывается в атмосферу. Результаты вычислений сводятся в таблице 14. При механическом побуждении движения воздуха допускается скорость воздуха (V_{\max}) в магистральных путях до 12 м/с, в ответвлениях (V_{\min}) – до 6 м/с. Прирост скорости воздуха при переходе от одного участка к другому определяют по формуле (21):

$$\Delta V_{\text{уч}} = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{n - 1}, \quad \text{м/с} \quad (21)$$

где, n – количество участков магистрали

$$\Delta V_{\text{уч}} = \frac{12 - 6}{7 - 1} = 1 \text{ м/с.}$$

Таблица 14 – Данные для расчета воздуховода

№ участка	l, м	L, м ³ /ч	V Мм	d, м/сек	Cш	λ/d	Pтр, Н/м ³	Z	Pм.с., Н/м ³	Pуч, Н/м ³
1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	13
А	5	2600	4,5	450	1,055	0,039	2,49	1,95	11,86	714,35
Б	3,5	2600	4,5	450	1,055	0,039	1,74	1,95	11,86	13,60
В	3,5	2600	4,5	450	1,055	0,039	1,74	1,95	11,86	13,60
Г	3,5	2600	4,5	450	1,055	0,039	1,74	1,95	11,86	13,60
Д	3,5	2600	4,5	450	1,055	0,039	1,74	1,95	11,86	13,60
Е	3,5	2600	4,5	450	1,055	0,039	1,74	1,95	11,86	13,60
Ж	3,5	2600	4,5	450	1,055	0,039	1,74	1,95	11,86	13,60
8-9	0,2	5200	5,8	560	1,064	0,029	0,12	0,6	2,02	2,14
9-10	1,5	7800	7,1	630	1,072	0,022	1,06	0,6	9,07	10,13
10-11	0,2	10400	8,4	670	1,088	0,022	0,20	0,6	12,70	12,90
11-12	1,5	13000	9,3	710	1,085	0,017	1,43	0,6	15,56	16,99
12-13	1,7	15600	9,9	750	1,087	0,017	1,84	0,6	17,64	19,48
12-14	8	18200	10,2	800	1,089	0,017	9,24	2	18,72	20,56

Приближенные значения скорости для участков 1-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 13-21 примем соответственно 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 11 м/с.

Расчетный диаметр трубопровода определяют по формуле (22):

$$d_p = \sqrt{\frac{4L}{3600 \cdot \pi \cdot V_{np}}}, \text{ м} \quad (22)$$

где, L – расход воздуха на участке (строка 3 таблицы 14);

V_{np} – принятая скорость движения воздуха на участке.

$$d_{1-8} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2600}{3600 \cdot 3,14 \cdot 5}} = 0,43 \text{ м,}$$

$$d_{8-9} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2600}{3600 \cdot 3,14 \cdot 6}} = 0,45 \text{ м},$$

$$d_{9-10} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2600}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7}} = 0,56 \text{ м},$$

$$d_{10-11} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2600}{3600 \cdot 3,14 \cdot 8}} = 0,63 \text{ м},$$

$$d_{11-12} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2600}{3600 \cdot 3,14 \cdot 9}} = 0,67 \text{ м},$$

$$d_{12-13} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2600}{3600 \cdot 3,14 \cdot 10}} = 0,71 \text{ м},$$

$$d_{13-17} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2600}{3600 \cdot 3,14 \cdot 11}} = 0,8 \text{ м}.$$

Согласно ГОСТ–24751-81 [42] подбираем трубопроводы номинального диаметра, который должен быть больше или равен расчетному. Результаты представлены в столбце 5 таблицы 14. Физическая скорость движения воздуха в трубопроводе на участках определяют по формуле (23):

$$V = \frac{4L}{\pi \cdot 3600 \cdot d^2}, \text{ м/с}. \quad (23)$$

$$V_{8-9} = \frac{4 \cdot 2600}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,45^2} = 4,5 \text{ м/с},$$

$$V_{9-10} = \frac{4 \cdot 2600}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,56^2} = 5,8 \text{ м/с},$$

$$V_{10-11} = \frac{4 \cdot 2600}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,45^2} = 4,5 \text{ м/с},$$

$$V_{11-12} = \frac{4 \cdot 2600}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,67^2} = 8,4 \text{ м/с},$$

$$V_{12-13} = \frac{4 \cdot 2600}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,71^2} = 9,3 \text{ м/с},$$

$$V_{13-17} = \frac{4 \cdot 2600}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,75^2} = 9,9 \text{ м/с},$$

$$V_{17-21} = \frac{4 \cdot 2600}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,8^2} = 10,2 \text{ м/с.}$$

Для участков б, в, г, д, е и ж значение V принимаем равным 4,5 м/с. Значения приведены в столбце 4 таблицы 14. Для дальнейших вычислений необходимо определить поправочный коэффициент $C_{ш}$, который учитывает шероховатость внутренней поверхности воздухопроводов и зависит от скорости воздуха и абсолютной шероховатости стенок K . Стенки воздуховода будут производиться из оцинкованной стали. В этом случае абсолютная шероховатость стенок составит 0,2 мм. Исходя из этого поправочный коэффициент будет изменяться в зависимости от расчетной скорости воздуха от 1,053 до 1,090. Все значения занесены в столбец 6 таблицы 14.

Потери давления в сети рассчитываем исходя из данных таблицы 14. По расчетным данным столбцов 1, 3, 4 и 7 таблицы 14 вычислим потери давления в вентиляционной сети. Для расчетов необходимо определить условный коэффициент трения (λ/d).

Потери давления на преодоление сопротивления трения рассчитывается по формуле (24):

$$P_{mp} = C_m \cdot l \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \text{ м/с,} \quad (24)$$

где, ρ – плотность воздуха для нормальных условий, $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$

$$P_{mp.a} = 1,055 \cdot 5 \cdot 0,039 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 0,45^2 = 2,49 \text{ м/с,}$$

$$P_{mp.б,в,г,д,е,ж} = 1,055 \cdot 3,5 \cdot 0,039 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 4,5^2 = 1,74 \text{ м/с,}$$

$$P_{mp.8-9} = 1,064 \cdot 5 \cdot 0,029 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 5,8^2 = 0,12 \text{ м/с,}$$

$$P_{mp.9-10} = 1,072 \cdot 1,5 \cdot 0,022 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 7,1^2 = 1,06 \text{ м/с,}$$

$$P_{mp.10-11} = 1,088 \cdot 0,2 \cdot 0,022 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 8,4^2 = 0,20 \text{ м/с,}$$

$$P_{mp.11-12} = 1,085 \cdot 1,5 \cdot 0,017 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 9,3^2 = 1,43 \text{ м/с},$$

$$P_{mp.12-13} = 1,087 \cdot 1,7 \cdot 0,017 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 9,9^2 = 1,84 \text{ м/с},$$

$$P_{mp.13-21} = 1,089 \cdot 8 \cdot 0,017 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 10,2^2 = 9,24 \text{ м/с}.$$

Так же необходимо рассмотреть участки с местным сопротивлением. На участке имеются следующие местные сопротивления:

- местный отсос с коэффициентом местного сопротивления $\zeta=1,3$;
- ответвление под углом 90° с отношением $= 1,0$, имеющий коэффициент $\zeta=0,4$;
- диффузор с постепенным расширением имеющий коэффициент $\zeta=0,25$;
- индивидуальная заслонка, имеющая коэффициент $\zeta=0,0-100$ в зависимости от степени открытия; в рабочем режиме коэффициент сопротивления принимается равным $\zeta=0,0$;

Суммарный коэффициент местного сопротивления на участке, а равен:

$$\sum \zeta = 1,30 + 0,40 + 0,25 + 0,00 = 1,95.$$

Суммарные коэффициенты участков б-ж равняются суммарному коэффициенту сопротивления участка, так как эти участки имеют одинаковые параметры и схемы работы. Для участка 8 определены следующие местные сопротивления:

- диффузор для перехода трубопровода $d=450$ мм к трубе $d=540$ мм при угле раскрытия $\alpha=30^\circ$ и $F1/F2 = 0,69$, коэффициент трения $\zeta=0,2$;
- унифицированный прямой тройник с соотношением $= 2$ с коэффициентом на проход $\zeta=0,0$;

Суммарный коэффициент местного сопротивления на участке 8 равен:

$$\sum \zeta = 0,2 + 0,0 = 0,2.$$

Для участка 9-13 определены следующие участки местного сопротивления:

- унифицированный прямой тройник с соотношением $= 2$ с

коэффициентом на вход $\zeta=0,0$ и ответвление $\zeta=0,6$;

Суммарное местное сопротивление:

$$\sum \zeta = 0,6 + 0,0 = 0,6.$$

Для участка 14-21 определены следующие места сопротивления:

- унифицированный прямой тройник с соотношением $r/d = 2$ с коэффициентом на ответвление $\zeta=0,6$;

- два ответвления под углом 90° с отношением $= 0,5$ и коэффициентом на сопротивление $\zeta=1,0$;

- направляющие жалюзи для выпуска воздуха без рассеяния с коэффициентом $\zeta=2,0$.

Суммарное местное сопротивление:

$$\sum \zeta = 0,6 + 2 \cdot 1,0 + 2,0 = 4,6.$$

Анализ результатов потерь давлений показал, что на участке 14-21 эти потери очень велики и составляют 40% от всех потерь давления в магистрали. Чтобы уменьшить потери давления на этом участке необходимо внести изменения и рассчитать систему другим способом.

Заменяя секционные повороты на более гладкие и увеличив отношение радиуса к диаметру до 1,5, изменим значение коэффициента трения, которое составит $\zeta=0,3$. Если создать вытяжной проем диффузором с зонтом, то коэффициент трения в нем составит $\zeta=0,8$. Сумма местных сопротивлений в этом случае будет равняться:

$$\sum \zeta = 0,6 + 2 \cdot 0,3 + 0,8 = 2.$$

Полученные данные занесены в столбец 11 таблицы 14.

Подсчет потерь давления на преодоление местных сопротивлений на каждом участке произведем по формуле (6):

$$P_{м.с.а,в,г,д,е,е,ж} = 1,95 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 4,5^2 = 11,86 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{м.с.8-9} = 0,2 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 5,8^2 = 2,02 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{м.с.9-10} = 0,6 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 7,1^2 = 9,07 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{м.с.10-11} = 0,6 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 8,4^2 = 12,70 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{м.с.11-12} = 0,6 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 9,3^2 = 15,56 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{м.с.12-13} = 0,6 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 9,9^2 = 17,64 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{м.с.13-14} = 0,6 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 10,2^2 = 18,72 \text{ Н/м}^2,$$

$$P_{м.с.14-21} = 2 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 10,2^2 = 62,42 \text{ Н/м}^2.$$

Результаты расчетов занесены в столбец 12 таблицы 14. Потери давления на каждом участке вычисляются по формуле (25):

$$P_{руч.} = P_{т.р.} + P_{м.с.} \quad (25)$$

$$P_{уч а} = 2,49 + 11,86 + 700 = 714,35 \text{ Н/м}^3,$$

$$P_{уч б,в,г,д,е,ж} = 1,74 + 11,86 = 13,60 \text{ Н/м}^3,$$

$$P_{уч 8-9} = 0,12 + 2,02 = 2,14 \text{ Н/м}^3,$$

$$P_{уч 9-10} = 1,06 + 9,07 = 10,13 \text{ Н/м}^3,$$

$$P_{уч 10-11} = 0,20 + 12,70 = 12,90 \text{ Н/м}^3,$$

$$P_{уч 11-12} = 1,43 + 15,56 = 16,99 \text{ Н/м}^3,$$

$$P_{уч 12-13} = 1,84 + 17,64 = 19,48 \text{ Н/м}^3,$$

$$P_{уч 13-14} = 1,84 + 18,72 = 20,56 \text{ Н/м}^3,$$

$$P_{уч 14-21} = 9,24 + 62,42 = 71,66 \text{ Н/м}^3.$$

Результаты вычислений заносим в столбец 13 таблицы 14. Общие потери давления на магистрали составляют 868,21 Н/м². Потери давления на ответвлениях равны 663,60 Н/м² для каждого. Полное сопротивление сети определяется по формуле (10):

$$R_c = 868,21 \cdot \frac{18200}{3600} = 34,73 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$$

С учетом коэффициента запаса по расходу $K_3=1,1$, расчетная

производительность вентилятора вычисляется по формуле (11):

$$L_{в.р.} = 1,1 \cdot 18200 = 20020 \text{ м}^3\text{ч.}$$

Расчетное давление, создаваемое вентилятором, рассчитывается по формуле (13). Для выбора вентилятора необходимо построить характеристику сети. По формуле вычисляем необходимое значение создаваемого вентилятором давления по формуле (13). Расчетное давление равно $P_{в.р} = 1073,50 \text{ Н/м}^2$. Подбираем вентилятор, который будет работать при такой нагрузке. Для работы будем опираться на рабочие характеристики промышленного вентилятора низкого давления ВР 86-77-8. [5] Характеристика вентилятора представлена на рисунке 11.

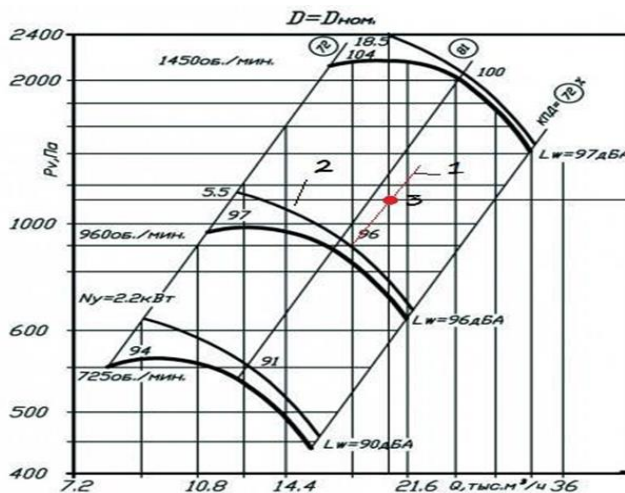


Рисунок 11 – Рабочая характеристика вентилятора ВР 86-77-8:

1 – характеристика сети, 2 – характеристика вентилятора, 3 – расчетный режим работы

Число оборотов вентилятора составит 1200 мин^{-1} . Мощность вентилятора составит 5 кВт , $\text{КПД} = 83\%$. Вентилятор имеет запас как по производительности, так и по напору.

3.2.3 Расчёт системы вентиляции в зоне плазмореза

Для проветривания данной зоны запланирован воздуховод с одним местным отсосом. Загрязненный воздух идет по трубопроводу, проходит очистку на фильтре и выводится в атмосферу. Расчетный диаметр

трубопровода вычисляется по формуле (17):

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 2600}{3600 \cdot 3,14 \cdot 12}} = 0,275 \text{ м.}$$

Согласно ГОСТ 24751-81 [42] подбираем трубопроводы номинального диаметра, который должен быть больше или равен расчетному. Диаметр трубопровода примем равным 280 мм. Физическая скорость движения воздуха определяется по формуле (18):

$$V = \frac{4 \cdot 2600}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,28^2} = 11,7 \text{ м/с.}$$

Стены воздухопровода будут производиться из оцинкованной стали. Абсолютная шероховатость стенок составит 0,2 мм. В этом случае поправочный коэффициент будет равен $C_{ш}=1,1$.

Определяем условный коэффициент трения. Он равен $\lambda=0,054$. Потери давления на преодоление сопротивления трения рассчитываются по формуле (19):

$$P_{mp} = 1,1 \cdot 10 \cdot 0,054 \cdot \frac{1,2}{2} \cdot 11,7^2 = 48,78 \text{ Н/м}^2$$

Так же необходимо рассмотреть участки с местным сопротивлением.

На участке имеются следующие местные сопротивления:

- местный отсос с коэффициентом местного сопротивления $\zeta=1,3$;
- ответвление под углом 90° с отношением $= 1,0$, имеющий коэффициент $\zeta=0,4$;
- индивидуальная заслонка, имеющая коэффициент $\zeta=0,0-100$ в зависимости от степени открытия; в рабочем режиме коэффициент сопротивления принимается равным $\zeta=0,0$;
- диффузор с зонтом с коэффициентом трения $\zeta=0,8$.

Сумма местных сопротивлений в этом случае будет равняться:

$$\sum \zeta = 1,3 + 0,4 + 0,8 + 0,0 = 2,5.$$

Подсчет потерь давления на преодоление местных сопротивлений производится по формуле (6):

$$P_{м.с.} = 2,5 \cdot 0,6 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 11,5^2 = 198,3 \text{ Н/м}^2$$

$$P_{уч} = 48,78 + 198,3 + 650 = 897,15 \text{ Н/м}^3$$

Полное сопротивление сети определяется по формуле (10):

$$R_c = 897,15 / (2600/3600) = 1212,3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$$

С учетом коэффициента запаса по расходу $K_3=1,1$, расчетная производительность вентилятора, определенная по формуле (11):

$$L_{в.р.} = 1,1 \cdot 2600 = 2860 \text{ м}^3\text{ч.}$$

Для выбора вентилятора необходимо построить характеристику сети. По формуле вычисляем необходимое значение создаваемого вентилятором давления по формуле (13). Расчетное давление вентилятора должно составлять $P_{в.р} = 1725,3 \text{ Н/м}^2$. Подбираем вентилятор, который будет работать при такой нагрузке. Для работы будем опираться на рабочие характеристики вентилятора ВР 280-46-2,5 [26]. Характеристика вентилятора представлена на рисунке 12.

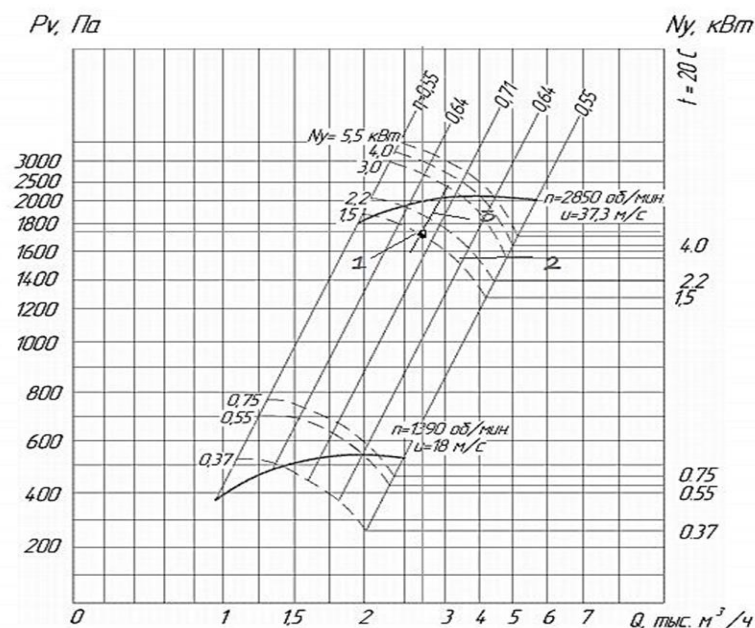


Рисунок 12 – Рабочие характеристики вентилятора ВР 280-46-2,5:

1 – расчетный режим работы, 2 – характеристика вентилятора, 3 – характеристика сети

Число оборотов вентилятора составит 2800 мин^{-1} . Мощность вентилятора составит 1,5 кВт, КПД=69%.

3.2.4 Выбор и размещение воздушных фильтров

Для очистки воздуха учебно-лабораторного корпуса от вредных выбросов необходимо установить фильтрующие установки на вытяжные ветви. Установка будет производиться на ветви в зоне сварки и в зоне плазменной резки.

Так как сварочный аэрозоль состоит из дисперсных частиц размером от 10 до 1 мкм, то в качестве очистительного устройства следует применять фильтры тонкой очистки.

Воздуховоды спроектированной системы вентиляции имеют круглое сечение. В зависимости от этого необходимо подбирать подходящий фильтр по размеру воздуховодов. Фильтр будет установлен на воздуховоды размерами 0,280 м в зоне плазменной резки и 0,450 м в зоне сварки, а также в магистральной ветви вентиляции сварочного производства размером 0,800 м.

Исходя из вышеперечисленных потребностей подбираем подходящий фильтр, который будет в полной мере соответствовать всем необходимым требованиям. Для данных целей были выбраны следующие фильтры: для воздуховодов в зоне сварки устанавливается воздушный фильтр-бокс Shuft с фильтром FBCr 250 весом 4,5 кг; для воздуховодов в зоне плазменной резки устанавливается воздушный фильтр-бокс Shuft с фильтром FBCr 450 весом 11 кг [27]. В местах соединения с воздуховодом имеют прорезиненные прокладки, плотно прилегающие к стенкам воздуховода, что исключает просачивание вредных веществ через стыки.

3.3 Расчёт рекуператора

В зоне работы металлургических печей происходит интенсивное выделение большого количества тепла, которое никак не используется и просто выходит в атмосферу через вентиляционные сети и открытые дверные и оконные проемы. Данное тепло можно использовать в качестве

дополнительного отопления помещения, что сократит расходы на классическое отопление [48].

При расходе воздуха на ветви вентиляции в зоне металлургических печей $L=3188 \text{ м}^3/\text{ч}$ выбор рекуператора тепла остановим на роторном типе рекуператора. Данный тип оборудования обладает коэффициентами эффективности 75-90%. Тепловая энергия теплого воздуха холодному передается благодаря вращению ротора, внутри которого плотно заложена фольга из меди, алюминия или нержавеющей стали.

Рассмотрев варианты предлагаемых на рынке рекуператоров, выбор был остановлен на системе Salda на основе роторного рекуператора RIRS 3000 HW [28]. Данное устройство работает от сети напряжение 220 В и имеет мощность 11,2 кВт.

Для определения эффективности и экономической целесообразности применения роторного рекуператора тепла сравним затраты на эксплуатацию двух установок:

- приточно-вытяжная вентиляционная установка производительностью $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ с электрическим калорифером;
- энергоэффективная приточно-вытяжная вентиляционная установка с роторным рекуператором тепла модель RIRS 3000 HW.

Для этого исходными данными являются:

- производительность установки – $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- КПД системы рекуперации при расходе $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ – 0,75.
- расход электроэнергии установки в час – 11,2 кВт.
- стоимость 1 кВт/эл.энергии – 3,15 руб.;
- стоимость RIRS 3000 HW – 420063 руб.;
- C – удельная теплоемкость воздуха $1,009 \text{ кДж}$;
- M – масса нагреваемого воздуха $V_p = 3000 \cdot 1,29 = 3870 \text{ кг}$.

dT – разница температур (24°C –предполагаемая температура в помещении, 0°C – среднегодовая температура наружного воздуха)

Требуемое количество тепла необходимое для поддержания комфортной

температуры, внутри помещения при использовании приточно-вытяжной установки:

$$Q = C \cdot M \cdot dT = 1.009 \cdot 3870 \cdot 24 = 93,72 \text{ кВт/ч.}$$

Затраты электроэнергии калорифером:

$$P_{\text{кал.}} = Q / \text{КПД}_{\text{кал.}} = 93,72 / 0,95 = 98,65 \text{ кВт/ч.}$$

где, $\text{КПД}_{\text{кал.}}$ – КПД калорифера.

Затраты электроэнергии в год составят:

$$P_{\text{год.}} = P_{\text{кал.}} \cdot 24 \text{ (часа)} \cdot 30 \text{ (дней)} \cdot 7 \text{ (отопительных месяцев)}$$

$$P_{\text{год.}} = 98,65 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 12 = 852\,336 \text{ кВт/ч.}$$

Система рекуперации на данных режимах позволяет сэкономить следующее количество электроэнергии:

$$P_{\text{рек.э.}} = 852\,336 \cdot 0,75 = 639\,252 \text{ кВт/ч.}$$

В рублевом эквиваленте экономия составит

$$S_{\text{э.}} = 639\,252 \cdot 3,50 = 2\,013\,643,8 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, срок окупаемости энергоэффективной приточно-вытяжной вентиляционной установки с роторным рекуператором тепла модель RIRS 3000 HW составит:

$$\text{Ток.} = P_{\text{ус.}} / S_{\text{э.}} = 420063 / 2\,013\,643,8 = 0,208 \text{ года (2,5 месяца)}$$

3.4 Выводы по главе 3

Для создания и поддержания оптимальных показателей микроклимата в учебно-лабораторном корпусе ЮТИ ТПУ разработана система приточно-вытяжной вентиляции. Для каждого участка системы приточно-вытяжной вентиляции подобраны соответствующие воздуховоды и вентиляторы:

- ВР 86-77-8, число оборотов – 1200 об/мин, мощность 5 кВт, КПД=83%,
- ВР 280-46-2.5, число оборотов – 2800 об/мин, мощность 1,5 кВт, КПД=69%,
- ВР86-77м-3.15, число оборотов – 2000 об/мин, мощность 0,3 кВт, КПД=80%.

Для очистки воздуха от сварочного аэрозоля выбран воздушный фильтр-бокс Shuft с фильтром FBCr 450 и воздушный фильтр-бокс Shuft с фильтром FBCr 250 тонкой очистки. В зоне металлургических печей для экономии на отоплении предложено установить рекуператор тепла на ветвь вентиляции, для чего была выбрана роторная установка Salda мощностью 11,2 кВт.

Разработанная система приточно-вытяжной вентиляции полностью обеспечит необходимый воздухообмен в помещении, установленная система очистки воздуха защитит окружающую среду от загрязнения сварочной пылью, а система рекуперации тепла позволит сократить расходы на отопление помещения и обеспечит поддержание необходимой температуры в холодное время года.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Расчёт стоимости разработки системы вентиляции

Для расчета экономических затрат на установку вентиляционной системы учитываются стоимость вентиляторов давления и дополнительного оборудования, и затраты на ее установку [49]. В таблице 15 указаны вентиляторы и их стоимости.

Таблица 15 – Затраты на покупки оборудования

Номенклатура	Цена, руб
Воздушный фильтр-бокс Shuft с фильтром FBCr 250	1 780
Вентилятор модели ВР 280-46-2,5	20 535
Вытяжные устройства – местные отсосы KUA-200-2S	122 400
Фильтр-бокс Shuft FBCr 450	3 765
Воздушный фильтр-бокс Shuft FBCr 250	1 840
Итого:	150 320

4.2 Расчёт стоимости оборудования системы вентиляции

Для монтирования оборудования необходимо воспользоваться услугами монтажников. Приблизительные расценки на оплату работы согласно этому составляют [5]:

- монтаж радиального вентилятора – 4400 руб. за шт.;
- подъем системы до проектной отметки – 15000 руб.;
- установка фильтра – 440 руб. за шт.;
- монтаж диффузора – 300 руб. за шт.;
- монтаж воздуховода – 700 руб. за погонный метр;
- изготовление отверстий в стенах под воздуховод – 1000 руб. за шт.

Итого: 20 840 руб.

4.3 Расчёт пусконаладочных работ

План проведения пусконаладочных работ представлен в таблице 16.

Таблица 16 – План пусконаладочных работ

Наименование Работ	Единица измерения	Объем работ	Количество дней
Подготовка и складирование материала	-	-	3
Установка вентиляторов	шт.	3	1
Установка фильтра	шт.	2	1
Установка системы рекуперации	шт.	1	1
Установка узлов прохода вытяжных вентиляционных шахт	10 шт.	1,7	1
Прокладка воздуховодов листовой, оцинкованной стали класса Н (нормальные) толщиной 0,5 мм	100 м2	0,8	6
Установка зонтов над шахтами из листовой стали	шт.	3	1
Итого			13

Продолжительность работ составит 13 рабочих дней в одну смену, включая выгрузку и складирование материалов.

4.4 Расчёт технического обслуживания системы вентиляции в период эксплуатации

При выполнении технических работ, связанных с обслуживанием вентиляционных систем, учитывается срок эксплуатации установленного оборудования. Чем больше этот период, тем больше рисков поломок и аварийных ситуаций, соответственно и стоимость обслуживания систем вентиляции в таком случае будет выше, чем для нового оборудования. Важно также учитывать, что некоторые элементы оборудования сложно найти на отечественном рынке, поэтому нужно учитывать возможные затраты на импорт соответствующих запасных частей. В таблице 17 приведены затраты на техническое обслуживание системы вентиляции.

Таблица 17 – Техническое обслуживание системы вентиляции

Наименование	Ед.изм.	Цена с учетом НДС (20%),руб.
Обслуживание приточной установки (разовое)		
Базовое техническое обслуживание приточной установки (до 5 000 м³/ч)	шт.	4 200 руб.
Базовое техническое обслуживание приточной установки (от 5000 до 20 000 м³/ч)	шт.	6 400 руб.
Обслуживание приточной установки (по договору)		
Годовое техническое обслуживание приточной установки (до 5 000 м³/ч) (2 раза в год)	шт.	7 900руб.
Годовое техническое обслуживание приточной установки (от 5000 до 20 000 м³/ч) (2 раза в год)	шт.	12 000руб.
Годовое техническое обслуживание приточной установки (до 5 000 м³/ч) (4 раза в год)	шт.	14 000руб.
Годовое техническое обслуживание приточной установки (от 5000 до 20 000 м³/ч) (4 раза в год)	шт.	21 000руб.
Годовое техническое обслуживание приточной установки (до 5 000 м³/ч) (6 раза в год)	шт.	20 000руб.
Годовое техническое обслуживание приточной установки (от 5000 до 20 000 м³/ч) (6 раза в год)	шт.	30 000руб.
Обслуживание вытяжной установки		
Базовое техническое обслуживание вытяжной установки (до 1500 м³/ч)	шт.	1 000руб.
Базовое техническое обслуживание вытяжной установки (от 1500 до 5 000 м³/ч)	шт.	2 500руб.
Базовое техническое обслуживание вытяжной установки (от 5000 до 20 000 м³/ч)	шт.	3 800руб.
Базовое техническое обслуживание вытяжной установки (свыше 20 000 м³/ч)	шт.	по запросу
Обслуживание вытяжной установки (по договору)		
Годовое техническое обслуживание вытяжной установки (до 5 000 м³/ч) (2 раза в год)	шт.	4 700руб.
Годовое техническое обслуживание вытяжной установки (от 5000 до 20 000 м³/ч) (2 раза в год)	шт.	7 200руб.

Продолжение таблицы 17

1	2	3
Годовое техническое обслуживание вытяжной установки (до 5 000 м³/ч) (4 раза в год)	шт.	8 400руб.
Годовое техническое обслуживание вытяжной установки (от 5000 до 20 000 м³/ч) (4 раза в год)	шт.	12 600руб.
Годовое техническое обслуживание вытяжной установки (до 5 000 м³/ч) (6 раза в год)	шт.	12 000руб.
Годовое техническое обслуживание вытяжной установки (от 5000 до 20 000 м³/ч) (6 раза в год)	шт.	18 000руб.
Дополнительные работы по техническому обслуживанию вентустановок		
Чистка фильтра	шт.	800 руб.
Замена фильтра (без стоимости фильтра)	шт.	500 руб.
Чистка калорифера без разборки воздухопроводов	шт.	1 700 руб.
Чистка калорифера с разборкой воздухопроводов	шт.	5 200 руб.
Чистка грязевого фильтра	шт.	1 800 руб.
Сезонные пуско-наладочные работы системы вентиляции	шт.	11 000 руб.
Чистка диффузора	шт.	150руб.
Чистка решетки	шт.	225руб.
Дезинфекция решетки/диффузора	шт.	200руб.

4.5 Вывод по главе 4

Из проделанной работы следует вывод, что затраты на разработку и внедрение инженерного решения в эксплуатацию потребуются 171 160 рублей.

Затраты на основные оборудования составляет 150 320.

Затраты на монтирование оборудования составляет 20 840.

Рассчитаны также затраты на техническое обслуживание системы вентиляции в период эксплуатации.

5 Социальная ответственность

5.1 Описание рабочего места

Здание учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ имеет общую площадь равную 540 м² (размеры помещения 18х30 м). Рабочая площадь здания - 340 м². В рабочей зоне расположено оборудование для сварки, резки и нагрева различных видов металла (сварочные аппараты аргонодуговой сварки с использованием в сварочном производстве углекислого газа и аргона, запасенного в баллонах; аппарат плазменной резки металла с использованием аргона запасенного в баллонах; металлургические печи с температурой нагрева до 1300°С). Категория работ в помещении – Пб (в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96), ТНС-индекс (индекс тепловой нагрузки среды, характеризующий сочетание действия на человека параметров микроклимата) – 19,5-23,9; интенсивность энергозатрат при выполнении работ – 233-290 Вт [1].

При работе учебно-лабораторного корпуса на человека могут влиять следующие вредные и опасные факторы: сварочная пыль; ультрафиолетовое излучение; видимый свет; инфракрасное излучения; ионизирующее излучение; шум; ультразвук; лазерные лучи электрический ток; искры, брызги, выбросы расплавленного металла; механические опасности; взрыв систем под давлением. Источником излучения является плазменная установка в лаборатории. Плазменная резка сопровождается действием вредных факторов: интенсивным высокочастотным шумом, выделением пылегазовых смесей, содержащих конденсат паров и оксиды металлов, озон и оксиды азота, интенсивным излучением в оптическом диапазоне, тепловым излучением.

Данное здание и проводимые в нем работы не несут серьезного влияния на окружающую среду. Под воздействие вредных для окружающей среды попадают атмосфера (выбросы в атмосферу отработанного и запыленного воздуха) и литосфера (захоронение отработанных сварочных электродов и прочего производственного мусора).

5.2 Анализ выявленных вредных факторов

При работе учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ были выявлены следующие вредные факторы, влияющие на человека и окружающую среду: сварочная пыль; инфракрасное излучение; ультрафиолетовое излучение; видимое световое излучение; шум; ионизирующее излучение; ультразвук; лазерные лучи.

В процессе работы сварочного оборудования в закрытом помещении в воздух выделяется сварочная пыль в виде аэрозоля, которая содержит в себе мелкие взвешенные частицы металлов в твердой фазе. При повышенной концентрации в воздухе данных частиц возможно развитие профессиональных и онкологических заболеваний дыхательных путей рабочего персонала, находящегося в рабочей зоне. К таким заболеваниям относят бронхит, пневмокониоз и др. [14].

В лаборатории установлены металлургические печи. Вредные факторы от металлургических печей при длительном и интенсивном их воздействии на человека могут привести к возникновению профессиональных заболеваний трудящегося. К этим факторам относятся:

- тепловые, ультрафиолетовые, ионизирующие и другие излучения;
- электромагнитные поля;
- яркое слепящее световое излучение;
- выделяющиеся в атмосферу производственного помещения пыль и газ;
- высокий уровень шума и вибрации, ультразвук.

Нормирование и измерение содержания в воздух рабочей зоны вредных веществ производится в соответствии с нормативными документами [8,31,32,33]. Содержание сварочной пыли в воздухе рабочего помещения должно равняться 4 мг/м^3 [31].

В соответствии с ГОСТ 12.3.003-75 средства индивидуальной защиты органов дыхания следует применять при отсутствии местных отсосов. В некоторых случаях местные вытяжные устройства не могут обеспечить

требуемых параметров воздушной среды, поэтому также необходимо применение средств индивидуальной защиты органов дыхания. Наиболее экономичное решение является использование специализированной фильтрующей полумаски – респиратора. Респираторы, предназначенные для использования сварщиками, защищены специальным огнестойким защитным покрытием. Поверхность такого респиратора не подвержена горению (не прожигается искрами и окалиной). Конструкция фильтрующего элемента такого респиратора предусматривает наличие особого слоя из активированного угля, который поглощает газы и пары, выделяющиеся в процессе сварки.

Для защиты рабочего персонала от вредного воздействия сварочной пыли в данном случае принимаем полумаска фильтрующая 9922Р для защиты от дымов металлов, сварочных аэрозолей, пыли, озона, запахов органических паров. Защитить дыхательную систему от влияния загрязняющих веществ (оксид азота, озон, угарный газ, пыль) в лаборатории предлагается респираторная маска.

В данной работе рассматривается установки система вытяжной вентиляции, обеспечивающей отведение вредных газов и пыли от мест их непосредственного образования.

При проведении сварочных работ сварочная дуга испускает видимое яркое свечение и невидимое глазу ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Интенсивность этих свечений зависит от силы сварочного тока и величины напряжения. Видимое свечение в силу своей яркости способствует ослеплению рабочего; короткие ультрафиолетовые лучи вызывают электроофтальмию; инфракрасные лучи обладают сильно выраженным тепловым эффектом, напрямую зависящие от мощности сварочной дуги. При длительном воздействии инфракрасного излучения возможно развитие дерматита, получение ожога или теплового удара; при прямом наведении инфракрасных лучей на глаза рабочего вероятно развитие катаракты или ожога сетчатки. Нормирование видимого света, ультрафиолетового и инфракрасного излучения производится в соответствии с нормативными документами [34,37].

Установлены допустимые величины ультрафиолетового излучения на постоянных и непостоянных рабочих местах (облученность) от производственных источников с учетом спектрального состава излучения для областей:

- длинноволновой - 400 - 315 нм - УФ-А
- средневолновой - 315 - 280 нм - УФ-В
- коротковолновой - 280 - 200 нм - УФ-С [34].

Учитывая, что при электросварке на сварщика действуют не только прямая ультрафиолетовая радиация, но и рассеянная, отраженная от окружающих поверхностей, необходимо окрашивать стены кабин и сварочных цехов, переносные ширмы в светлые матовые тона с применением цинковых белил, желтого крона или титановых белил, которые поглощают ультрафиолетовые лучи. Кожа и глаза сварщика должны быть защищены от воздействия лучей дуги. Кожа тела защищается специальной рабочей одеждой в качестве костюмом сварщика ГИПЕРИОН ФРОСТ, который соответствует ГОСТ 12.4.250-2013 [43], лицо защищается щитком защитном лицевом щитком сварщика марки HH7-C-8 Premier Favori-T 2, кисти рук – рукавицами марки Heavy Duty Black, а глаза – закрытые защитные очки сварщика по ГОСТ Р 12.4.238-2007 [42].

Для защиты окружающих лиц место сварки следует ограждать переносными щитами или экранами (ширмами). В данной работе предлагается применить щиты ограждения модели ЩОС-01. ЩОС-01 – это защитный сварочный экран предназначен для ограждения мест проведения сварочных, слесарных и других операций. Щит ЩОС-01 состоит из каркаса сварной конструкции и обшивки из листовой стали. Высококачественное порошковое покрытие щита ограждения ЩОС-01 обладает высокой износоустойчивостью, позволяет предохранить поверхность от коррозии и обеспечить эстетичный внешний вид в течение длительного периода времени.

Уровень шума при сварочных работах зависит от режима сварки. Так, при механизированной сварке в углекислом газе при изменении силы тока от 200 до

450 А уровень шума возрастает от 86 до 97 дБА, а при сварке в аргоне увеличение тока от 150 до 500 А приводит к росту интенсивности шума от 90 до 150 дБА, т.е. на отдельных режимах превышает норму [14].

В данном помещении уровень шума при работе на сварочном или режущем оборудовании при условии работы вентиляционной системы составляет 85-90 дБА, что при длительном воздействии на человека является вредным фактором и может со временем привести к развитию тугоухости.

Для защиты рабочего от прямого воздействия звуковой энергии в качестве средства звукопоглощения штучные звукопоглотители пористоволокнистых материалов, устанавливаемые в помещении. Штучные звукопоглотители предполагается устанавливать в помещениях в непосредственной близости от источников шума, в данном случае сварочные оборудования на сварочном участке.

Для снижения шума рабочее место оператора установки плазменной резки предлагается звукоизолирующей кабиной-экраном. Стенку кабины из сплошного металлического листа толщиной 1,5...2 мм со звукопоглощающей облицовкой 2 толщиной 50 мм, расположенной с внешней и внутренней сторон кабины и закрытой слоем стеклоткани типа ЭЗ-400 и металлическим перфорированным листом 3 толщиной от 1 до 1,5 мм.

При работе на аппарате плазменной резки металлов отмечается интенсивное воздействие на рабочих ультразвука [44]. Ультразвук распространяется как в воздушной среде (воздушный ультразвук), так и контактным способом через твердую среду металла и оборудования (контактный ультразвук). Нормирование ультразвуковых волн в производственном помещении определяется в соответствии с ГОСТ 12.1.001-89.

В соответствии с данным документом, звуковое давление ультразвука не должно превышать 100 дБ, а при контактном способе передачи ультразвука – не более 105 дБ [35].

Практически, при работе на аппарате плазменной резки металлов,

уровень ультразвука колеблется в пределах 95-105 дБ, что является нормальным для данного вида работ [45].

Для защиты рук от возможного неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твердой или жидкой средах необходимо применять две пары перчаток – перчатки для сварки модели ESAB Heavy Duty Black. Данные вид перчатки соответствуют ГОСТ 12.4.010-75. Для защиты работающих от неблагоприятного воздействия воздушного ультразвука следует применять противошумы в соответствии с ГОСТ Р 12.4.213-99 [35].

Во время выполнения плазменной резки создаётся очень сильный видимый и ультрафиолетовый свет. Для того чтобы защитить глаза и кожу, оператор должен надевать соответствующую защитную одежду, закрывающую всё тело, а также защитный щиток и защитные очки.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата описаны в СН 2.2.4.548-96 [37]. Сварочные работы относятся к категории работ IIб. Для данного вида работ в таблице 18 представлены допустимые и оптимальные показатели микроклимата, а также приведены результаты измерений параметров микроклимата для исследуемого объекта.

Для вывода избыточного тепла используются системы приточно-вытяжной системы вентиляции. Вентиляционные отсосы располагаются непосредственно над прямыми источниками теплового излучения для обеспечения лучшей циркуляции воздуха.

Также необходимо рассчитать показатель освещенности помещения и сравнить с нормируемым. В учебно-лабораторном корпусе согласно СНиП 23-05-95 норма освещения составляет не менее 200 лк. Разряд зрительной напряженности – VII (по ВСН 196-83). Расчет общего равномерного освещения начинается с выбора источника освещения. Источниками освещения являются лампы накаливания, люминесцентные и ртутные лампы. Для освещения рабочего пространства учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ можно использовать лампы накаливания.

Таблица 18 – Параметры микроклимата объекта исследования и их нормирование

	Оптимальные		Допустимые				Параметры микроклимата объекта исследования (Температура)
			Теплое время года		Холодное время года		
	Теплое время года	Холодное время года	Ниже оптимальных	Выше оптимальных	Ниже оптимальных	Выше оптимальных	
Температура воздуха, °С	19-21	17-19	16-18,9	21,1-27	15-16,9	19,1-22	49,7
Относительная влажность воздуха, %	40-60	40-60	15-75		15-75		49,7
Скорость потоков воздуха, м/с	0,2	0,2	-	0,2-0,5	-	0,2-0,4	0,3
Температура поверхностей, °С	18-22	16-20	15-28		14-23		18,3

В качестве осветительного прибора выбираем промышленный уплотненный светильник (ПУ), который соответствует параметрам нашего помещения и подходит для предполагаемой мощности ламп.

По таблице 2 источника 38 находим величину освещенности помещения ($E = 200$ лк). По таблице 3 источника 38 находим коэффициент запаса, который зависит от запыленности светильников ($K_z=1,7$).

После получения необходимых данных вычисляется расстояние между светильниками и их расположение у стен. В нашем случае возможно размещение светильников по квадрату, что обеспечит наибольшую равномерность освещения. Существует наивыгоднейшее соотношение расстояний между светильниками и высотой их подвеса. Данное соотношение вычисляется по формуле (30):

$$\lambda=L/h, \quad (30)$$

где L – расстояние между светильниками, м;

h – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Для определения высоты подвеса светильника необходимо определить наименьшую высоту подвеса над полом (таблица П.1.6 источника 39, $h_2=3$ м) и высоту рабочей поверхности ($h_1=0,8$ м). Находим значение λ по таблице П.1.9 источника 39 ($\lambda = 1,8$). Высота подвеса светильника находится по формуле (31):

$$h=h_2-h_1, \text{ м} \quad (31)$$

$$h=3-0,8=2,2 \text{ м}$$

Преобразовав формулу 32 можно найти расстояние между светильниками:

$$L=\lambda \cdot h, \text{ м} \quad (32)$$

$$L=1,8 \cdot 2,2=4 \text{ м}$$

Расстояние от стен до крайних светильников принимается в три раза меньше расстояния между светильниками и составляет 1,3 м.

Схематическое расположение светильников показано в приложении В.

Исходя из размеров помещения, размеров светильников и расстояния между ними определяем, что число светильников в ряду – 8, число рядов – 5. В общем светильников должно быть 40.

Для определения величины светового потока необходимо определить коэффициент использования светового потока. Он зависит от индекса помещения и коэффициентов отражения.

Индекс помещения находится по формуле (33):

$$i=Sh/(A+B), \quad (33)$$

где S – площадь помещения, м^2 ;

A, B – размеры сторон помещения, м. $i=5402,2 \cdot (30+18)=5,11$.

Коэффициенты отражения стен и потолка определяются приблизительно из таблицы П.1.15 источника 36 ($\rho_c = 30\%$, $\rho_p = 50\%$). По таблице П.1.12 источника (36) определяем коэффициент использования светового потока ($\eta = 54\%$).

Величина светового потока рассчитывается по формуле (34):

$$\Phi = (E \cdot K_z \cdot S \cdot Z) / (n \cdot \eta), \text{ лм}, \quad (34)$$

где, Z – коэффициент неравномерности освещения, $Z=1,15$.
 $\Phi = 200 \cdot 1,7 \cdot 540 \cdot 1,1540 \cdot 0,54 = 9775 \text{ лм}$.

Из таблицы П.1.1 источника (36) определяем тип лампы. Это будет лампа накаливания мощностью 700 Вт и напряжение 220 В.

Таким образом, система общего освещения учебно-лабораторного корпуса должна состоять из 40 светильников типа ПУ с лампами накаливания мощностью 700 Вт, построенных в 5 рядов по 8 светильников.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что показатели микроклимата учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ являются допустимыми.

5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой среды

В процессе работы учебно-лабораторного корпуса ЮТИ ТПУ возможно проявление следующих опасных факторов, воздействующих на рабочий персонал:

- электрический ток;
- искры, брызги расплавленного металла;
- движущиеся механизмы;
- возможность взрыва систем под высоким давлением.

Меры защиты рабочих от большинства опасных факторов представлены в ГОСТ Р ИСО 11611-2011 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла при сварочных и аналогичных работах. Технические требования».

Нагрев некоторых элементов сварочных, режущих и плавильных агрегатов может привести к травматизму, связанному с термическим воздействием. Поражение происходит за счет непосредственного контакта с нагретой поверхностью или элементом аппаратуры. Нагревание элементов и аппаратов происходит за счет подачи электрического тока. В сварочных аппаратах наиболее опасным элементом является сварочная дуга, в

промышленных печах – разогретые стены, в аппаратах плазменной резки – плазменная струя; а также обрабатываемый металл.

Поражение электрическим током происходит при прикосновении с токоведущими частями электропроводки и сварочной аппаратуры, применяемой для дуговой сварки. Токи, проходящие через тело человека, величиной более 0,05 А (при частоте 50 Гц) могут вызывать тяжелые последствия и даже смерть.

Электробезопасность обеспечивается:

- выполнением требований к электробезопасности электросварочного оборудования, надежной изоляцией, применением защитных ограждений, автоблокировки, заземлением электрооборудования и его элементов, ограничением напряжения холостого хода источников питания;
- индивидуальными средствами защиты (работа в сухой и прочной спецодежде и рукавицах, в ботинках без металлических шпилек и гвоздей);
- соблюдением условий работы (пользование резиновым ковриком, резиновым шлемом и галошами при работе внутри сосудов).

В качестве средства защиты от электрического тока в данной работе предлагается:

- перчатки для сварки модели ESAB Heavy Duty Black в условиях повышенной механической нагрузки. Классические сварочные перчатки из высококачественного спилка бычьей кожи 1,2-1,3 мм и прошиты кевларовой нитью. Ладонь с усиленной защитой.
- резиновая обувь, изолирующие подставки. Данные средства являются дополнительными изолирующими средством и обладают недостаточной электрической прочностью и поэтому не могут самостоятельно защитить человека от напряжения током.

Ограждающие средства защиты предназначены: для временного ограждения токоведущих частей (временные переносные ограждения-щиты, ограждения-клетки, изолирующие накладки, изолирующие колпаки); для предупреждения ошибочных операций (предупредительные плакаты); для

временного заземления отключенных токоведущих частей с целью устранения опасности поражения работающих током при случайном появлении напряжения (временные защитные заземления).

Вспомогательные средства защиты предназначены для индивидуальной защиты работающего от световых, тепловых и механических воздействий (защитные очки, специальные рукавицы и т. п.).

5.4 Охрана окружающей среды

В ходе работы учебно-лабораторного корпуса производится загрязнение атмосферного воздуха пылью, содержащей частицы металлов. Выброс данного загрязняющего вещества производится через систему вентиляции. Однако эти загрязнения не превышают ПДВ.

В процессе работы основными отходами производства являются:

- шлак сварочный;
- остатки и огарки стальных сварочных электродов;
- флюсы;
- остатки стальной проволоки.

Отходы в сварочном и металлургическом производстве относятся к IV классу и являются не токсичными. Утилизация электродов заключается лишь в их переплавке, но для этого сначала нужно их отсортировать по составу примесей или металла. Это позволит после переплавки сразу получить сталь, легированную нужным химическим составом. Чаще всего она по второму кругу идет на производство таких же сварочных электродов. Это очень удобно, так как не остается отходов.

Практикуется добавление небольшого объема дробленой шлаковой корки к флюсу. Хотя сам шлак и различается по своему химическому составу тем, что он содержит больше окислов железа и кальция. Фторида кальция же напротив меньше. Полученный шлак будет иметь пониженную стойкость к образованию трещин и различных пор. Все это делает невозможным полностью

заместить флюс шлаком. Но небольшое его число ни приведёт к заметному ухудшению качества сварного шва.

Таким образом, переработка отходов в данном случае весьма нужной работой. Это позволит сократить попадание в атмосферу различных токсичных веществ.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Анализ ЧС, которые может инициировать объект исследования

Процесс работы оборудования в лаборатории может инициировать несколько чрезвычайных ситуаций. Наиболее типичной ситуацией, которая может произойти на производстве – это возникновение пожара на рабочем месте при перегрузке оборудования и большом нагреве (неисправность оборудования). Для обеспечения взрывобезопасности систем под давлением необходимо строгое соблюдение правил хранения и транспортировки баллонов со сжиженными газами; правил расположения и крепления газовых трубопроводов и т.д.

5.5.2 Анализ ЧС, которые могут произойти при работе оборудования

К наиболее частым и типичным авариям на машиностроительных предприятиях, классифицируемым как техногенные ЧС, относятся пожары, взрывы ёмкостей с горючими газами или жидкостями, разрушение и взрывы технологического оборудования и другими продуктами.

Эксплуатационно-технические причины: нарушение технологических процессов (отклонения параметров процесса, отклонения в характеристиках сырья и материалов, нарушение технологической дисциплины и др.); изношенность оборудования [50].

Человеческий фактор: нарушение трудовой дисциплины; нарушение

правил безопасности проведения работ; психофизиологические причины (ошибки в действиях, усталость, невнимание и др.). Внешние причины: отклонения параметров энергопитания; погодные факторы; геологические явления; диверсии и др.

5.5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

В числе мероприятий по защите рабочего от ЧС на предприятиях, указываются действия по эвакуации работающей смены, как при угрозе, так и при возникновении ЧС. Исходя из прогнозируемой возможности возникновения аварий, катастрофы или стихийного бедствия, которые могут повлечь за собой человеческие жертвы, принести ущерб здоровью людей, нарушить условия их жизнедеятельности, намечаются следующие мероприятия и временные параметры по эвакуации:

- определяется вид эвакуации (плановая или экстренная);
- производится расчёт рабочих и служащих, необходимых для проведения эвакуации;
- устанавливаются мероприятия по безаварийной остановке производства;
- намечаются схемы движения эвакуируемых из зоны ЧС к пунктам временного размещения и др;
- мероприятия режимного характера - запрещение курения в неустановленных местах;
- необходимо применить средство индивидуальной защиты при пожаре: респиратор, аптечка.
- производственное помещение необходимо обеспечить установками пожарной автоматики и первичными средствами пожаротушения (огнетушитель).

С учётом анализа и оценки ситуации руководитель объектовой комиссии по ЧС может принять одно из решений: провести эвакуацию внутри объекта;

вывести персонал за пределы объекта; применить комбинированный метод.

При работе в рассматриваемой лаборатории выявлены опасные и вредные факторы (шум, вибрация, освещенность и т.д.), а также мероприятия по их устранению. Также указаны все необходимые гигиенические требования для безопасной организации рабочего места. Рассмотрены чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть (поражение током и пожар) и описаны действия для их предотвращения.

Таким образом, для минимизации последствия ЧС необходимо:

- проведение профилактических работ по проверке состояния технологического оборудования;
- подготовка формирований для проведения ремонтно-восстановительных работ, оказания медицинской помощи пострадавшим, эвакуации пострадавших;
- проведение тренировок персонала по предупреждению аварий и травматизма;
- выполнение условий промышленной безопасности объектов в соответствии с предписаниями органов Ростехнадзора;
- обеспечение пожарной безопасности объекта;
- подготовка к действиям в чрезвычайных ситуациях персонала лаборатории;
- создание локальных систем оповещения.

5.5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами или экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты. Стены и оборудование цехов (участков) электросварки необходимо окрашивать в серый, желтый или голубой тона с диффузным (рассеянным) отражением света. Расстояние между оборудованием, от

оборудования до стен и колонн помещения, а также ширина проходов и проездов, должны соответствовать действующим строительным нормам технологического проектирования заготовительных цехов и ГОСТ 123.002-75. Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м. Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть негорючие, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям. Производственные помещения должны быть оборудованы общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией, соответствующей строительным нормам и правилам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

5.6 Выводы по главе 5

В ходе выполнения данного исследования было выявлено, что влияние вредных и опасных факторов на производственный персонал и проживающих вблизи объекта исследования людей находятся в пределах нормы. На момент исследования не в полной мере устранено вредное воздействие сварочной пыли, что может повлечь за собой развитие заболеваний дыхательных путей.

Необходимо:

- обеспечить выведение загрязненного воздуха и поступление свежего воздуха в достаточном объеме, установленном СНиП 41-01-2003;
- обеспечить рабочих СИЗ от сварочной пыли (ГОСТ Р ИСО 11611-2011);
- рассмотреть возможность перехода на технологический процесс, способствующий уменьшению образования сварочной пыли.

Заключение (выводы)

Система вентиляции необходима человеку для поддержания комфортного микроклимата в помещении. Она способна не только удалить загрязнения в воздухе, но также поддерживать заданный уровень влажности и температуры воздуха, что крайне важно. От состояния микроклимата в помещении напрямую зависит работоспособность и самочувствие человека: при содержании в воздухе различных примесей, недостаточном или избыточном нагреве воздуха и несоответствующей нормам влажности могут возникнуть различные заболевания, а при постоянном застаивании воздуха развиваться их хронические формы.

В промышленности наибольшую эффективность имеет искусственная вентиляция. Система рекуперации тепла позволяет возвращать тепло отработанного воздуха обратно в помещение, тем самым сохраняя постоянную температуру внутри здания и позволяет снизить затраты на нагрев воздуха при помощи отопления.

Для создания и поддержания оптимальных показателей микроклимата в учебно-лабораторном корпусе ЮТИ ТПУ разработана система приточно-вытяжной вентиляции. Подобраны соответствующие воздуховоды и вентиляторы:

- ВР 86-77-8, число оборотов - 1200 об/мин, мощность 5 кВт, КПД=83%,
- ВР 280-46-2.5, число оборотов - 2800 об/мин, мощность 1,5 кВт, КПД=69%,
- ВР86-77м-3.15, число оборотов - 2000 об/мин, мощность 0,3 кВт, КПД=80%.

Для очистки воздуха от сварочных аэрозолей выбран воздушный фильтр-бокс Shift с фильтром FBCr 450 и воздушный фильтр-бокс Shift с фильтром FBCr 250 тонкой очистки.

В зоне металлургических печей предложено установить рекуператор

тепла на ветвь вентиляции, выбрана роторная установка Salda мощностью 11,2 кВт. Разработанная система вентиляции полностью обеспечит необходимый воздухообмен в помещении, установленная система очистки воздуха защитит окружающую среду от загрязнения сварочной пылью, а система рекуперации тепла позволит сократить расходы на отопление помещения и обеспечит поддержание необходимой температуры в любое время года.

Список использованных источников

1. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 107 с.
2. Васильев А.В. Влияние микроклимата на производительность труда рабочих в РМЦ [Электронный ресурс] / А.В. Васильев, Е.П. Одноров // Молодой ученый. – 2016. – № 1 (105). – С. 138–141. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/105/24773/>. Дата обращения: 12.05.2020 г.
3. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 11 с.
4. Кокорин О.Я. Системы и оборудование для создания микроклимата помещений / О.Я. Кокорин. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 272 с.
5. Иванов Н.С. Вредные условия производства при выполнении сварочных работ, рекомендации и меры повышения безопасности / [Электронный ресурс] / Н.С. Иванов // Сварщик в России. – 2017. – № 4. – С. 29–33. – Режим доступа: <https://welder.stc-paton.com/ru/>. Дата обращения: 10.05.2020 г.
6. Александрова Ю. С. Химический состав сварочного аэрозоля и его влияние на окружающую среду // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 4–5 Июня 2015. – Томск: ТПУ, 2015. – С. 106–111.
7. Гришагин В.М. Химический состав сварочных аэрозолей, образующихся при сварке горно-шахтного оборудования и выбор методов их нейтрализации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № ОВ9. – С. 79–87.
8. Гришагин В.М. К вопросу о минимизации влияния сварочных аэрозолей на организм человека // Динамика систем, механизмов и машин: Материалы VII Международной научно-технической конференции. – Омск, ОмГТУ, 10–12 нояб. 2009 г. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. – С. 428–432.

9. СП 2.2.1.1312-03 Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий: Санитарно-эпидемиологические правила. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 40 с.

10. Методические рекомендации «Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания» N 5168-90 от 05.03.90.

11. Турбодефлектор: принцип действия [Электронный ресурс] // Завод «Турбодефлектор». – Режим доступа: <https://turbodeflektor.ru/>. Дата обращения: 10.05.2020 г.

12. Каменов П.Н. Вентиляция: учебное пособие. – М., Изд-во АСВ, 2008. – 624 с.

13. Наборная и моноблочная система вентиляции [Электронный ресурс]. / Вентиляция. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s8914t8.html>. Дата обращения: 05.03.2020.

14. Богословский В.И. Отопление и вентиляция» / В.И. Богословский. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.

15. МУ 4425-87 «Санитарно-гигиенический контроль систем вентиляций производственных помещений» – М.: ИПК Издательство стандартов, 1987. – 32 с.

16. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования воздуху рабочей зоны – М.: ИПК Издательство стандартов, 2006. – 50 с.

17. ГОСТ Р ИСО 9169-2006 Качество воздуха. Определение характеристик методик выполнения измерений – М.: ИПК Издательство стандартов, 2007. – 27 с.

18. ГОСТ 31350-2007 Вибрация. Вентиляторы промышленные. Требования к производимой вибрации и качеству балансировки – М.: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 47 с.

19. ГОСТ Р ЕН 13779-2007 «Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования» – М.: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 49 с.
20. ГОСТ 30528-97 «Системы вентиляционные. Фильтры воздушные. Типы и основные параметры» – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
21. Системы вентиляции и кондиционирования [Электронный ресурс] / Вентиляция сварочного цеха. – Режим доступа: <http://www.ads-vent.ru/blog/ventilyaciya-svarochnogo-ceha>. Дата обращения: 11.04.2020.
22. Вентиляция сварочного цеха – требования и нормы, примеры расчета. [Электронный ресурс] / Промышленная вентиляция. – Режим доступа: <https://rsvggroup.ru/ventilyatsiya/svarochnogo-tseha.html>. Дата обращения: 05.04.2020 г.
23. Короткова Л.Н. Исследование параметров микроклимата лаборатории / Л.Н. Короткова. – М.: Машиностроение, 2017. – 808 с.
24. СНиП 41.01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». – М.: ГОССТРОЙ РОССИИ, 2004. – 40 с.
25. Обзор рынка систем вентиляции [Электронный ресурс] / РФК «Климат»: системы кондиционирования и вентиляции. – Режим доступа: http://www.rfclimat.ru/htm/vent_rv.htm. Дата обращения: 05.04.2020 г.
26. Обзор рынка современных систем вентиляции [Электронный ресурс] / Экосистемы для дома и офиса. – Режим доступа: <http://ecosystems.ru/index.php?module=articles&articleid=37>. Дата обращения: 05.04.2020 г.
27. Куприянов И. П. Технологический микроклимат / И.П. Куприянов. – М.: Академия, 2017. – 176 с.
28. Системы вентиляции с рекуперацией тепла [Электронный ресурс] / Строим свой дом. – Режим доступа: <http://stroimsvoidom.com/sistemy-ventilyacii-srekuperaciej-tepla/#i>. Дата обращения: 05.03.2020 г.
29. Система вентиляции с рекуперацией, рециркуляцией [Электронный ресурс] / Продвинутое решения. – Режим доступа: <http://www.ads-vent.ru/blog/ventilyaciya-s-rekuperaciej-recirklyacej>. Дата обращения: 05.03.2020 г.

30. Алексеев С.В. Обеспечение микроклимата в локальных рабочих объемах производства. – М.: ЦНИИ Электроника, 2017. – 894 с.
31. Кондиционирование, вентиляция и отопление помещений. – М.: Современная школа, 2016. – 256 с.
32. Самойлов, В. С. Вентиляция и кондиционирование / В.С. Самойлов, В.С. Левадный. – М.: Аделант, 2009. – 240 с.
33. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2016. – 62 с.
34. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
35. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 77 с.
36. ГОСТ 12.1.001-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Ультразвук. Общие требования безопасности – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 11 с.
37. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация – М.: ИПК Издательство стандартов, 2019. – 19 с.
38. ГОСТ Р 12.4.213-99 (ИСО 4869-3-89) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 11 с.
39. Кувшинов Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий; Издательство Ассоциации строительных вузов - М., 2017. - 320 с
40. ГОСТ Р ИСО 11611-2011 Система стандартов безопасности труда

(ССБТ). Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла при сварочных и аналогичных работах. Технические требования – М.: ИПК Издательство стандартов, 2012. – 27 с.

41. ГОСТ 26460-85 Продукты разделения воздуха. Газы. Криопродукты. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение (с Изменением N 1) – М.: ИПК Издательство стандартов, 2006. – 9 с.

42. ГОСТ 24751-81. Оборудование воздухотехническое. Номинальные размеры поперечных сечений присоединений – М.: ИПК Издательство стандартов, 1981. – 9 с.

43. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1987. – 10 с.

44. Гришагин В.М. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для студентов заочной формы обучения / В.М. Гришагин, В.Я Фарберов – Юрга: ИПЛ ЮТИ ТПУ, 2012.

45. Дроздов В.Ф. Отопление и вентиляция: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» / В.Ф. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1984.

46. Кострюков В.А. Отопление и вентиляция: учебник для техникумов / В.А. Кострюков. – М.: Стройиздат, 1965.

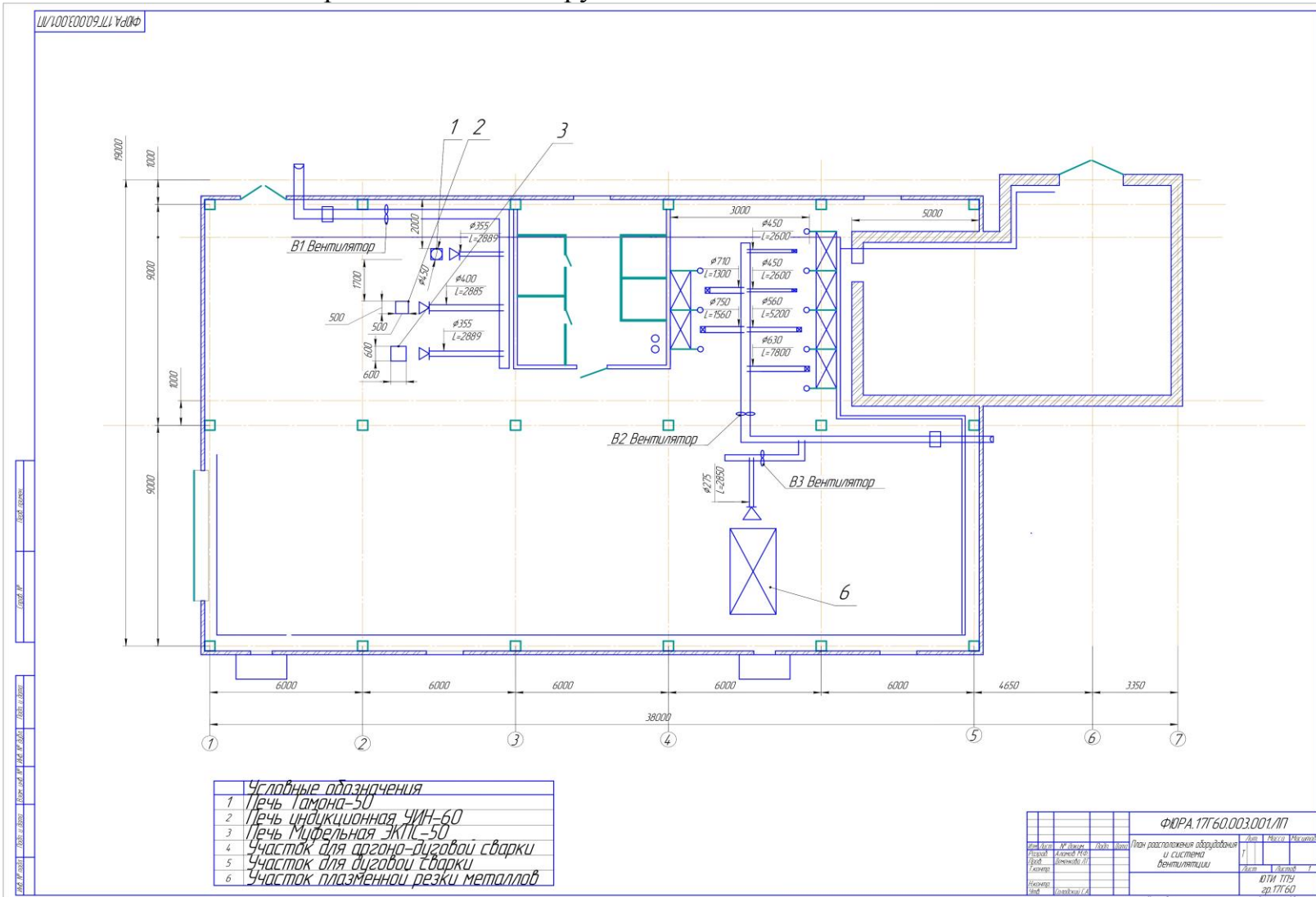
47. Богословский В.Н. Отопление и вентиляция / В.Н. Богословский, В.П. Щеглов. – М.: Стройиздат, 1970.

48. Бромлей М.Ф. Технические испытания вентиляционных установок / М.Ф. Бромлей, В.В. Кучерук. – М.: Стройиздат, 1952.

49. Бутаков С.Е. Аэродинамика систем промышленной вентиляции / С.Е. Бутаков – М.: Профиздат, 1949.

50. Каменев П.И. Отопление и вентиляция. Ч.II. Вентиляция / П.И. Каменев – М.: Стройиздат, 1964.

План расположения оборудования и системы вентиляции



Приложение Б

Кинематическая схема вентиляционной системы

